

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**FERNANDO CHEQUETTO MACHADO**

**ESTADO DE CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO  
ARMADO: ESTUDO DE CASO NA EDIFICAÇÃO DO GRUPAMENTO  
DE BUSCA E SALVAMENTO DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR  
DE SANTA CATARINA**

**FLORIANÓPOLIS, 2022.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**FERNANDO CHEQUETTO MACHADO**

**ESTADO DE CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO  
ARMADO: ESTUDO DE CASO NA EDIFICAÇÃO DO GRUPAMENTO  
DE BUSCA E SALVAMENTO DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR  
DE SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Santa Catarina como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora:  
Profa. Luciana Maltez Calçada, Dra.

**FLORIANÓPOLIS, 2022.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Machado, Fernando Chequetto  
**ESTADO DE CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO:**  
estudo de caso na edificação do Grupamento de Busca e Salvamento  
do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina  
/ Fernando Chequetto Machado; orientação de Luciana  
Maltez Calçada. - Florianópolis, SC, 2022.

136 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado  
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico  
de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Corrosão em concreto. 2. Potencial de corrosão.
  3. Profundidade de carbonatação. 4. Teor de cloretos.
- I. Calçada, Luciana Maltez. II. Instituto Federal de  
Santa Catarina. III. ESTADO DE CORROSÃO EM ESTRUTURA  
DE CONCRETO ARMADO.

**ESTADO DE CORROSÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO NA EDIFICAÇÃO DO GRUPAMENTO DE BUSCA E SALVAMENTO DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA**

**FERNANDO CHEQUETTO MACHADO**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 30 de agosto, 2022.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente  
LUCIANA MALTEZ CALCADA  
Data: 30/08/2022 19:30:48-0300  
CPF: 000.045.279-33  
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

---

**Luciana Maltez Calçada, Dr.(a)**



Documento assinado digitalmente  
ALEXANDRE LIMA DE OLIVEIRA  
Data: 30/08/2022 19:40:28-0300  
CPF: 014.836.549-31  
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

---

**Alexandre Lima de Oliveira, Dr.**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**



Documento assinado digitalmente  
JULIANA MACHADO CASALI PERUCH  
Data: 30/08/2022 21:16:31-0300  
CPF: 006.099.509-24  
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

---

**Juliana Machado Casali Peruch, Dr.(a)**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**

## AGRADECIMENTOS

Sempre tive certo apreço por ler as notas de agradecimento de todo trabalho e livro que li, ficando mesmerizado pelas doces palavras brevemente transcorridas com tamanha afeição e carinho. E, apesar de não ser bom com as palavras, espero não deixar passar esta oportunidade e ser capaz de atribuir ao menos parte do devido reconhecimento a algumas das pessoas que me foram essenciais neste curto processo de formação acadêmica.

Um cordial agradecimento aos colaboradores do Grupamento de Busca e Salvamento do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, em especial a Pedro Soares de Paula, por todo o amparo, gentileza, parceria e auxílio;

À Renata El-Hage Meyer de Barros Osorio, Douglas Deni Alves, Lucas Onghero, Gabrielly Nalygia Sobral, Miguel Lopes Pinheiro e Claudi Ariane Gomes da Fonseca, pela ajuda e contribuição com o desenvolvimento deste trabalho;

A todos os meus chefes, pela compreensão durante este período;

À instituição de ensino, por tornar possível minha graduação e, despropositadamente, ressignificar prioridades, valores e motivações, bem como por condicionar-me a persistir em grande parte dos momentos;

Aos meus professores, banca e orientadora: algumas das pessoas mais extraordinárias que já tive o privilégio de conhecer, por toda a paciência, dedicação e comprometimento com a instituição e com seus alunos;

Aos meus amigos, colegas, irmão, pai e avó, por todas as risadas, incentivo, preocupação e apoio, que muito importantes foram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional, além de tornar meus dias tão mais leves e descontraídos;

Às minhas pequenas, por toda a felicidade, companhia e por tanto ajudarem nos dias em que a mochila parecia mais pesada que o habitual, embora nada a mais nela houvesse;

E especialmente, à minha mãe, antes por muito e hoje por tudo.

"E, quando a tempestade passar, na certa lhe será difícil entender como conseguiu atravessá-la e ainda sobreviver. Aliás, nem saberá com certeza se ela realmente passou. Uma coisa, porém, é certa: ao emergir do outro lado da tempestade, você já não será o mesmo de quando nela entrou." (Kafka à Beira-mar - Haruki Murakami)

## RESUMO

Manifestações patológicas de corrosão são problemas frequentes em diversas construções por todo o mundo, estando associadas a altos custos de manutenção e sendo responsáveis pela degradação de estruturas, que comprometem seu desempenho e acarretam prejuízos consideráveis à segurança estrutural de edificações. Este processo corrosivo é causado por uma interação físico-química entre o material e o meio corrosivo e depende de diversos fatores, como as características dos materiais, as condições de exposição e o modo de atuação dos agentes corrosivos, que agem simultaneamente, sendo zonas costeiras as mais afetadas. Tão logo estas condicionantes sejam determinadas, torna-se possível a elaboração de medidas preventivas para a adequada proteção das estruturas, bem como manutenção dos problemas existentes, cujos diagnóstico e monitoramento têm considerável importância. Dentre alguns dos métodos de investigação de processos corrosivos, tem-se o ensaio de potencial de corrosão, a medida de profundidade de carbonatação e a medida do teor de cloretos, capazes de determinar a probabilidade de ocorrência de corrosão nos locais de análise, o avanço da frente de carbonatação no concreto ou de íons cloreto, respectivamente. Deste modo, neste trabalho foram verificadas as condições referentes ao estado de corrosão de dois elementos da estrutura de uma edificação do Grupamento de Busca e Salvamento (GBS) do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), localizada em uma região costeira de Florianópolis e que tem grande importância para o resgate marítimo, de modo a levantar seus pontos críticos e contribuir com posteriores planos de manutenção. Após a inspeção do local com análise visual da estrutura, foi realizado o mapeamento das regiões com corrosão visível, a partir dos quais foram definidos dois elementos estruturais para análise, correspondentes à viga e ao pilar da fachada frontal da edificação. Esta análise foi realizada por meio da determinação das posições de armaduras nos elementos estruturais, determinação das perdas de seção das armaduras expostas existentes e dos ensaios de potencial de corrosão, profundidade de carbonatação e teor de cloretos. Com base nestes ensaios, foi verificado um alto teor de cloretos livres no concreto do pilar e uma menor concentração na região da viga analisada, assim como probabilidade incerta de corrosão ou probabilidade superior a 90% de não ocorrência de corrosão, além da presença de carbonatação em alguns elementos avaliados da estrutura. Por fim, concluiu-se que a estrutura encontra-se com alguns pontos críticos nestes elementos que requerem intervenções imediatas, bem como locais a serem realizadas manutenções a curto prazo e elementos que permanecem em bom estado de conservação e em plenas condições de operação.

**Palavras-chave:** Corrosão em concreto. Potencial de corrosão. Profundidade de carbonatação. Teor de cloretos.

## ABSTRACT

Pathological manifestations of corrosion are frequent problems in several constructions around the world, being associated with high maintenance costs and being responsible for the degradation of structures, which compromise their performance and cause considerable damage to the structural safety of buildings. This corrosive process is caused by a physical-chemical interaction between the material and the corrosive environment and depends on several factors, such as the characteristics of the materials, the exposure conditions and the mode of action of the corrosive agents, which act simultaneously, being coastal zones the most affected. As soon as these conditions are determined, it becomes possible to develop preventive measures for the adequate protection of structures, as well as maintenance of existing problems, whose diagnosis and monitoring are of considerable importance. Among some of the methods of investigation of corrosive processes, there is the corrosion potential test, the measurement of carbonation depth and the measurement of the chloride content, capable of determining the probability of occurrence of corrosion in the analysis sites, the advance of the carbonation front in the concrete or chloride ions, respectively. Thus, the conditions referring to the corrosion state of two elements of the structure of a building of the Search and Rescue Group (Grupamento de Busca e Salvamento, GBS) of the Santa Catarina Military Fire Department (Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, CBMSC), located in a coastal region of Florianópolis and which has great importance for maritime rescue, were verified to raise its critical points and contribute to subsequent maintenance plans. After the site inspection with a visual analysis of the structure, the mapping of regions with visible corrosion was carried out, from which two structural elements were defined for analysis, corresponding to the beam and the column of the front facade of the building. This analysis was carried out by determining the positions of reinforcement in the structural elements, the section losses of the existing exposed reinforcement and tests of corrosion potential, carbonation depth and chloride content. Based on these tests, it was verified a high content of free chlorides in the concrete of the column and a lower concentration in the region of the analyzed beam, as well as an uncertain probability of corrosion or a probability greater than 90% of no corrosion, in addition to the presence of carbonation in some evaluated elements of the structure. Finally, it was concluded that the structure has some critical points in these elements that require immediate interventions, as well as places to perform short-term maintenance and elements that remain in good condition and in full operating condition.

**Keywords:** Concrete corrosion. Corrosion potential. Carbonation depth. Chloride content.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pilha de corrosão com um mesmo metal .....	22
Figura 2 – Mecanismos de corrosão eletroquímica em diferentes meios.....	23
Figura 3 – Pilha de corrosão eletroquímica no concreto .....	24
Figura 4 – Tipos de corrosão.....	25
Figura 5 – Aparência superficial da corrosão generalizada pela carbonatação do concreto (a) e puntiforme pela ação de íons cloreto (b).....	26
Figura 6 – Corrosão em fissuras transversais e longitudinais .....	27
Figura 7 – Representação do avanço do processo de carbonatação .....	28
Figura 8 – Carbonatação do cobrimento do concreto .....	29
Figura 9 – Formação do pite de corrosão pela ação dos íons cloreto.....	31
Figura 10 – Exemplo simplificado da rede de poros do concreto.....	32
Figura 11 – Influência da relação água/cimento (a/c) na penetração de cloretos no concreto .....	34
Figura 12 – Modelo de vida útil de Tuutti .....	36
Figura 13 – Medidas de carbonatação com soluções de fenolftaleína e timolftaleína.....	43
Figura 14 – Influência do cobrimento em medidas de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado .....	48
Figura 15 – Mapa de contornos equipotenciais.....	50
Figura 16 – Eletrodo de referência de cobre - sulfato de cobre (Cu/CuSO <sub>4</sub> ).....	52
Figura 17 – Esquema do ensaio para a realização das leituras de potencial de corrosão .....	53
Figura 18 – Exemplo de leitura de potencial de corrosão em grade .....	54
Figura 19 – Localização da edificação .....	58
Figura 20 – Imagem 3D da edificação.....	59
Figura 21 – Imagem aérea da edificação .....	59
Figura 22 – Planta baixa dos pavimentos térreo e superior da edificação principal do GBS .....	60
Figura 23 – Fachada da edificação principal do GBS .....	61
Figura 24 – Viga da fachada noroeste (frontal) da edificação .....	64
Figura 25 – Parte inferior da viga da fachada noroeste da edificação.....	64
Figura 26 – Parte traseira da viga da fachada noroeste da edificação.....	65
Figura 27 – Extremidade direita da viga da fachada noroeste da edificação .....	65
Figura 28 – Parede oeste da edificação.....	66
Figura 29 – Parte traseira do pilar central da fachada noroeste da edificação.....	66

Figura 30 – Laje da lateral noroeste da edificação.....	67
Figura 31 – Pilar e paredes da lateral oeste da edificação.....	67
Figura 32 – Parte inferior da viga central da garagem .....	68
Figura 33 – Extremidade esquerda da viga da fachada sudeste (traseira) da edificação.....	68
Figura 34 – Pilar da lateral oeste da edificação.....	69
Figura 35 – Parede oeste da edificação.....	69
Figura 36 – Lajes e pilar da lateral oeste da edificação .....	70
Figura 37 – Laje da lateral oeste da edificação .....	70
Figura 38 – Parede da lateral oeste da edificação .....	71
Figura 39 – Laje da lateral oeste da edificação .....	71
Figura 40 – Parte da lateral oeste da edificação .....	72
Figura 41 – Canto esquerdo da sacada do pavimento superior .....	72
Figura 42 – Identificação dos elementos estruturais a serem avaliados (térreo).....	73
Figura 43 – Elemento estrutural 1: Viga da fachada noroeste (frontal) da edificação .....	74
Figura 44 – Elemento estrutural 2: Pilar da fachada noroeste (frontal) da edificação .....	74
Figura 45 – Croqui dos elementos estruturais analisados da fachada noroeste com indicação de fissurações e exposição de armaduras (vista frontal) .....	75
Figura 46 – Croqui dos elementos estruturais analisados da fachada noroeste com indicação de fissurações e exposição de armaduras (vista inferior) .....	75
Figura 47 – Região da barra exposta após feita a lixação pontual.....	76
Figura 48 – Medição do diâmetro de uma das barras expostas da viga da fachada frontal.....	76
Figura 49 – Utilização do paquímetro para marcação do posicionamento das armaduras dos elementos estruturais analisados.....	78
Figura 50 – Marcação da posição, profundidade e bitolas dos vergalhões e estribos do pilar.....	78
Figura 51 – Marcação da posição, profundidade e bitolas dos vergalhões e estribos da viga.....	79
Figura 52 – Marcação dos locais para coleta de amostras no pilar.....	79
Figura 53 – Pontos escolhidos para coleta das amostras no pilar .....	80
Figura 54 – Perfuração executada no ponto 4 do pilar.....	81
Figura 55 – Medição do diâmetro de uma das perfurações, em mm, com um paquímetro.....	82
Figura 56 – Medição da profundidade da perfuração do ponto P1, em mm, com um paquímetro .....	82



Figura 86 – Leituras de potencial realizadas na viga no elemento estrutural 2: pilar .....	113
Figura 87 – Mapa de contornos equipotenciais do elemento estrutural 2: pilar .....	114

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental .....	38
Quadro 2 – Identificação dos blocos da imagem aérea .....	60
Quadro 3 – Identificação dos elementos estruturais da Figura 23 .....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o revestimento nominal para concreto armado .....	39
Tabela 2 – Probabilidade de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial.....	55
Tabela 3 – Intensidade e Direção Predominante do Vento de Florianópolis (1981 - 2010).....	62
Tabela 4 – Insolação Total de Florianópolis (1981 - 2010) .....	63
Tabela 5 – Pesos das amostras (g).....	86
Tabela 6 – pH das amostras .....	89
Tabela 7 – Leituras de resistência dos cabos utilizando diferentes equipamentos ...	95
Tabela 8 – Perdas de seção (%) .....	106
Tabela 9 – Leituras de profundidade de carbonatação (mm) .....	107
Tabela 10 – Teor de cloretos.....	109

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana para Testes e Materiais)
BRE	<i>Building Research Establishment</i> (Centro de Ciência da Construção do Reino Unido)
BS	<i>British Standards</i> (Normas Britânicas – Grupo BSI)
CBMSC	Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
CBS	Companhia de Busca e Salvamento
DACC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
DAE	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
GBS	Grupamento de Busca e Salvamento
IFSC	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PMSC	Polícia Militar de Santa Catarina
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
a/c	Relação água/cimento
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Cromato de prata
AgNO <sub>3</sub>	Nitrato de prata
C <sub>3</sub> A	Aluminato tricálcico
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de cálcio
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
Cc	Concentração crítica
Cl <sup>-</sup>	Íon cloreto
cm	Centímetro
cmín	Cobrimento mínimo
cnom	Cobrimento nominal
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
CuSO <sub>4</sub>	Sulfato de cobre
ddp	Diferença de potencial
e <sup>-</sup>	Elétron
Fck	<i>Feature Compression Know</i> (Resistência Característica do Concreto à Compressão)
Fe	Ferro
Fe(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de ferro (II)
FeCl <sub>2</sub>	Cloreto de ferro (II)
h	Hora
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Ácido carbônico

H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de hidrogênio
Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Nitrato de mercúrio (II)
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Cromato de potássio
km	Quilômetro
KOH	Hidróxido de potássio
L	Litro
m	Metro
mg	Miligrama
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MV	Megavolt
mV	Milivolt
NaOH	Hidróxido de sódio
O <sub>2</sub>	Oxigênio
OH <sup>-</sup>	Hidróxido
pH	Potencial hidrogeniônico
s	Segundo
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfato
UR	Umidade relativa
V	Volt

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2</b>	<b>Definição do Problema</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>19</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Corrosão</b> .....	<b>21</b>
2.1.1	Corrosão química.....	21
2.1.2	Corrosão eletroquímica.....	22
<b>2.2</b>	<b>Tipos de corrosão</b> .....	<b>25</b>
2.2.1	Corrosão em função da carbonatação do concreto .....	28
2.2.2	Corrosão em função da ação de íons cloreto.....	30
<b>2.3</b>	<b>Características do concreto e influência no processo corrosivo</b> .....	<b>33</b>
2.3.1	Influência da porosidade do concreto .....	33
2.3.2	Influência da composição do cimento .....	34
2.3.3	Potencial alcalino .....	35
<b>2.4</b>	<b>Durabilidade e vida útil</b> .....	<b>35</b>
<b>2.5</b>	<b>Perda de seção transversal de aço resistente</b> .....	<b>36</b>
<b>2.6</b>	<b>Agressividade ambiental</b> .....	<b>37</b>
<b>2.7</b>	<b>Cobrimento</b> .....	<b>38</b>
<b>2.8</b>	<b>Passivação</b> .....	<b>39</b>
<b>2.9</b>	<b>Interação ambiente-estrutura</b> .....	<b>40</b>
2.9.1	Concentração do agente agressivo no ambiente .....	40
2.9.2	Teor crítico de cloretos.....	40
2.9.3	Umidade ambiental .....	41
<b>2.10</b>	<b>Diagnóstico e monitoramento de corrosão</b> .....	<b>42</b>
2.10.1	Profundidade de carbonatação .....	42
2.10.1.1	<i>Método de ensaio</i> .....	44
2.10.2	Determinação do teor de cloretos .....	44
2.10.3	Potencial de corrosão .....	46
2.10.3.1	<i>Ensaio de potencial de corrosão</i> .....	50
2.10.3.1.1	<i>Materiais e equipamentos</i> .....	50
2.10.3.1.2	<i>Procedimento de ensaio</i> .....	52
2.10.3.1.3	<i>Apresentação dos resultados e avaliação do potencial de corrosão</i>	
	55	
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>Informações sobre o Grupamento de Busca e Salvamento</b> .....	<b>57</b>
3.1.1	Informações climáticas.....	61
<b>3.2</b>	<b>Avaliação das condições de corrosão</b> .....	<b>63</b>
<b>3.3</b>	<b>Elementos estruturais avaliados</b> .....	<b>73</b>
3.3.1	Métodos de ensaio e avaliação .....	75
3.3.1.1	<i>Profundidade de carbonatação</i> .....	80
3.3.1.2	<i>Teor de cloretos</i> .....	83

3.3.1.3	<i>Potencial de corrosão</i> .....	93
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE</b> .....	<b>103</b>
4.1	<b>Cobrimento</b> .....	<b>103</b>
4.2	<b>Perdas de seção transversal</b> .....	<b>105</b>
4.3	<b>Ensaio de profundidade de carbonatação</b> .....	<b>106</b>
4.4	<b>Ensaio de teor de cloretos</b> .....	<b>109</b>
4.5	<b>Ensaio de potencial de corrosão</b> .....	<b>110</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>116</b>
5.1	<b>Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	<b>118</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>120</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>124</b>
	APÊNDICE A – Croquis dos elementos estruturais .....	125
	APÊNDICE B – Posições das armaduras dos elementos estruturais .....	126
	APÊNDICE C – Detalhes dos elementos estruturais .....	127
	APÊNDICE D – Leituras de potencial da viga (V) .....	128
	APÊNDICE E – Mapa de contornos equipotenciais da viga (V) .....	129
	APÊNDICE F – Leituras de potencial do pilar (V) .....	130
	APÊNDICE G – Mapa de contornos equipotenciais do pilar (V) .....	131

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação de estruturas decorrente de problemas de corrosão são frequentes e ocorrem em diversas atividades em todo o mundo, como nas indústrias química, petrolífera, automobilística e da construção civil (GENTIL, 2011).

No cenário nacional, por todo o território são evidenciados problemas relacionados à deterioração de estruturas de concreto devido à corrosão de armaduras, sendo zonas costeiras mais afetadas (MEIRA, 2017).

Segundo Gentil (2011), pode-se definir a corrosão como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, associada ou não a esforços mecânicos, e que ocasiona alterações prejudiciais indesejáveis aos materiais, como desgastes, variações químicas ou modificações estruturais, que podem vir a comprometer sua utilização.

A corrosão das armaduras é um dos mecanismos de degradação que diminui a capacidade resistente das estruturas de concreto armado, sendo a velocidade da deterioração variável de acordo com diversos fatores intrínsecos à execução e utilização das estruturas (MEDEIROS *et al.*, 2017). Conseqüentemente, estas deteriorações podem vir a ocasionar comprometimento da qualidade das estruturas, bem como afetar a segurança, a estabilidade estrutural e o desempenho de serviço ao longo de sua vida útil (MOTA, 2020).

Nas estruturas de concreto armado, estes efeitos degenerativos manifestam-se primeiramente na forma de manchas superficiais ocasionadas pelos produtos de corrosão, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de cobertura, redução da seção resistente das armaduras com possível seccionamento de estribos, bem como redução e eventual perda de aderência das armaduras principais (RIBEIRO *et al.*, 2018).

A presença de microfissuras serve de acesso aos agentes agressivos no interior das estruturas, iniciando o processo de corrosão nas armaduras juntamente com o eletrólito (água) e o oxigênio, funcionando como uma micro ou macropilha de corrosão (MEDEIROS *et al.*, 2017).

Alguns dos fatores que interferem neste processo são o ambiente de exposição, condições da estrutura, eficiência do revestimento, penetração de agentes

agressivos ao interior do concreto e os materiais empregados na concretagem (MEDEIROS *et al.*, 2017). Contudo, o processo de corrosão das armaduras ocorre por meio de vários fatores que agem simultaneamente, devendo sempre ser analisado de forma sistêmica (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Desta forma, uma vez conhecidas as condições de exposição e o modo de atuação dos agentes corrosivos, torna-se possível a elaboração de medidas preventivas para a adequada proteção das estruturas contra a corrosão, bem como de atividades de manutenção (FERNANDES; NÓBREGA, 2018), possibilitando corrigir problemas em estruturas existentes e evitar o surgimento em obras futuras (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Dentre alguns dos possíveis métodos de investigação de processos corrosivos, um dos parâmetros eletroquímicos de mais fácil determinação experimental é o potencial de corrosão em circuito aberto (WOLYNEC, 2003), que tem seu procedimento de ensaio descrito na norma C-876 (ASTM, 2015).

Esta técnica consiste na medição da diferença de potencial elétrico entre o aço da peça em análise e um eletrodo de referência (MEDEIROS *et al.*, 2017), sendo medidas qualitativas sobre o processo de corrosão, por não apresentarem a cinética do fenômeno (MEDEIROS *et al.*, 2017), e são avaliadas de acordo com a probabilidade de ocorrência deste processo (MEIRA, 2017) e classificados conforme as faixas de referência normativas.

Contudo, o potencial medido depende de uma série de variáveis, necessitando também considerar aspectos particulares de cada estrutura durante a interpretação dos resultados (MEIRA, 2017).

Além da medida de potencial de corrosão, de acordo com o ambiente no qual a estrutura está inserida, visando identificar o agente causador do processo corrosivo, podem ser determinados o teor e profundidade atingida por íons cloreto na estrutura e/ou a profundidade de carbonatação do concreto.

Para o caso da profundidade de carbonatação, utiliza-se soluções indicadoras de pH, como a fenolftaleína, que permite avaliar o avanço da frente de carbonatação, podendo ser feita por meio de testemunhos ou diretamente na estrutura analisada (MEIRA, 2017).

Para o caso da presença de cloretos, sua determinação pode ser feita por meio de métodos volumétricos, como o de Mohr, que consiste na titulação da solução com o cloreto em uma solução padrão de nitrato de prata em presença de cromato de potássio, que age como indicador (CASCUDO, 1997). Esta determinação é feita a partir do material em pó, coletado de testemunhos ou na própria estrutura, podendo corresponder a diferentes profundidades em relação à superfície de concreto (CASCUDO, 1997).

Além disso, os custos associados à recuperação ou reforço de estruturas de concreto armado por conta de corrosão de armadura são, em geral, muito elevados (TAVARES, 2006) e considerando o risco à vida humana pela possibilidade de falha da estrutura, fica evidente a importância do estudo da corrosão em armaduras de concreto.

Em vista destas questões, este trabalho possui como proposta analisar as condições da estrutura de uma edificação do Grupamento de Busca e Salvamento (GBS) do Corpo de Bombeiros de Santa Catarina (CBMSC), situada à beira do mar e que já apresenta alguns sinais de corrosão.

## **1.1 Justificativa**

Em um levantamento de manifestações patológicas realizado pela Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) no Rio Grande do Sul no período de 1977 a 1986, Dal Molin (1988) mostrou que, embora a incidência de corrosão de armaduras em edificações tenha sido de 11,89% do total das manifestações patológicas encontradas, quando analisadas segundo a gravidade e segurança estrutural, estas representavam 40% das fissuras graves no concreto armado (DAL MOLIN, 1988). Contudo, em nível nacional, ainda são poucos os dados disponíveis (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Além disso, o custo associado à corrosão de elementos estruturais é um importante fator a ser considerado (TAVARES, 2006), uma vez que o valor despendido implica em um significativo custo adicional, seja para substituição de materiais corroídos, manutenções, utilização de materiais mais resistentes à corrosão, entre outros (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Segundo o *National Association of Colleges and Employers* (NACE), em 2013, os gastos mundiais com a corrosão foram estimados em 2,5 trilhões de dólares, o que equivale a 3,4% do Produto Interno Bruto (PIB) global e que entre 15 a 35% destes gastos poderiam ser evitados utilizando práticas de controle de corrosão disponíveis, ou seja, entre 375 e 875 bilhões de dólares anuais em uma base global (NACE, 2016).

Deste modo, conforme evidenciado, a análise e o monitoramento de estruturas são de considerável importância para o pleno funcionamento e operação das edificações. Portanto, este estudo demonstra-se relevante, uma vez que visa avaliar partes da estrutura que possivelmente já se encontrem comprometidas, para que estes locais recebam adequada atenção e tratamento, bem como posterior execução de manutenções, reduzindo gastos com serviços corretivos tardios e consequentemente aumentando a segurança e a vida útil da estrutura.

## **1.2 Definição do Problema**

A edificação do Grupamento de Busca e Salvamento (GBS) do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) está situada com sua fachada norte voltada para o mar, ou seja, em um local propício para o desenvolvimento de manifestações patológicas de corrosão.

Apesar disso, a edificação não recebe manutenções há anos e sua estrutura apresenta sinais de corrosão em estágio inicial ainda não detectada ou em estágios mais avançados, exigindo uma avaliação da atual condição para assegurar a segurança estrutural do local, bem como manter seu integral estado de conservação.

## **1.3 Objetivo Geral**

Verificar as condições de dois elementos estruturais da edificação do Grupamento de Busca e Salvamento (GBS) do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), observando questões relativas à corrosão.

## 1.4 Objetivos Específicos

O trabalho possui como objetivos específicos:

- a) Identificar, por meio de inspeção visual, as regiões e elementos estruturais com processo corrosivo visível, indicando ao GBS os pontos de intervenção imediata necessária.
- b) Determinar, por meio de medição in loco, a perda de seção transversal de aço, em locais em que eventualmente se identifique armadura exposta, subsidiando a tomada de decisão quanto à necessidade de reforço da região.
- c) Realizar o mapeamento de corrosão de dois elementos estruturais, por meio do ensaio de potencial de corrosão, de modo a indicar as regiões com alta probabilidade de corrosão.
- d) Determinar o teor de cloretos em quatro regiões destes elementos estruturais, associando ao risco de corrosão.
- e) Determinar a profundidade de carbonatação do concreto em três pontos de um dos elementos analisados, identificando possível corrosão associada a este fenômeno.
- f) Indicar ao GBS os pontos críticos da estrutura dos locais avaliados da edificação que necessitem de manutenções, considerando seus respectivos graus de urgência.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho encontra-se organizado em 5 (cinco) capítulos.

Neste primeiro capítulo, foi apresentado uma introdução sobre o tema corrosão, seu processo de formação, formas de manifestação, possíveis consequências, a importância do adequado monitoramento, bem como um resumo sobre os ensaios de potencial de corrosão, profundidade de carbonatação e teor de cloretos.

Além disso, na justificativa, foram exploradas questões relacionadas à gravidade destas patologias e à segurança estrutural, bem como gastos com serviços preventivos e de manutenção. Posteriormente, foram abordados o problema em questão e os objetivos gerais e específicos do trabalho.

No segundo capítulo, é apresentada a fundamentação teórica do trabalho utilizando-se de revisão de literatura, de modo a contextualizar e caracterizar termos, conceitos e assuntos importantes utilizados durante o trabalho, necessários para a plena compreensão do tema abordado.

No terceiro capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados para a execução do trabalho, visando descrever a infraestrutura utilizada para o desenvolvimento da pesquisa e como ocorreu sua execução. Neste, são apresentadas informações sobre a edificação objeto de estudo, como histórico, localização, estrutura e informações climáticas do local, além de um levantamento e avaliação das condições de patologias da estrutura, com enfoque em patologias de corrosão, definição dos elementos a serem avaliados e os métodos utilizados para a avaliação da estrutura por meio dos três ensaios a serem realizados no local e em laboratório.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de pacometria, potencial de corrosão e profundidade de carbonatação, bem como cálculo das perdas de seção das barras expostas e dos valores de teor de cloretos obtidos em laboratório. Ainda, é realizada uma análise destes dados, de modo a caracterizar as informações coletadas, suas consequências e auxiliar a posterior tomada de decisão durante os serviços de manutenção.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para compreender os fatores que influenciam as técnicas de avaliação e monitoramento de estruturas de concreto armado, faz-se necessário conhecer as características e propriedades do processo de corrosão, os fatores intervenientes e os métodos de ensaio associados. Estas informações serão apresentadas ao longo do capítulo 2 deste trabalho.

### 2.1 Corrosão

A corrosão consiste na deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, associada ou não a esforços mecânicos, que ocasiona alterações prejudiciais indesejáveis aos materiais, como desgastes, variações químicas ou modificações estruturais, que podem vir a comprometer sua utilização (GENTIL, 2011).

#### 2.1.1 Corrosão química

Na corrosão química ocorre o ataque de um agente químico diretamente sobre o material, não havendo a transferência de cargas ou elétrons e, conseqüentemente, sem a formação de corrente elétrica (FRAUCHES-SANTOS, 2014). Esta reação química entre o meio corrosivo e o material resulta na formação de um produto de corrosão sobre a sua superfície (MERÇON; GUIMARÃES; MANIER, 2004) e usualmente ocorre em altas temperaturas, como em caldeiras, fornos e unidades de processo (FRAUCHES-SANTOS, 2014).

Helene (1993) e Merçon, Guimarães e Manier (2004) citam como exemplos deste processo, respectivamente, as reações de expansão e lixiviação dos compostos hidratados da pasta de cimento Portland e a corrosão de zinco metálico em presença de ácido sulfúrico.

Contudo, para obras civis, este tipo de corrosão tem pouca importância, por tratar-se de um lento processo, em que os óxidos formados criam uma película sobre o metal, reduzindo, ainda mais, a velocidade das reações (MEIRA, 2017).

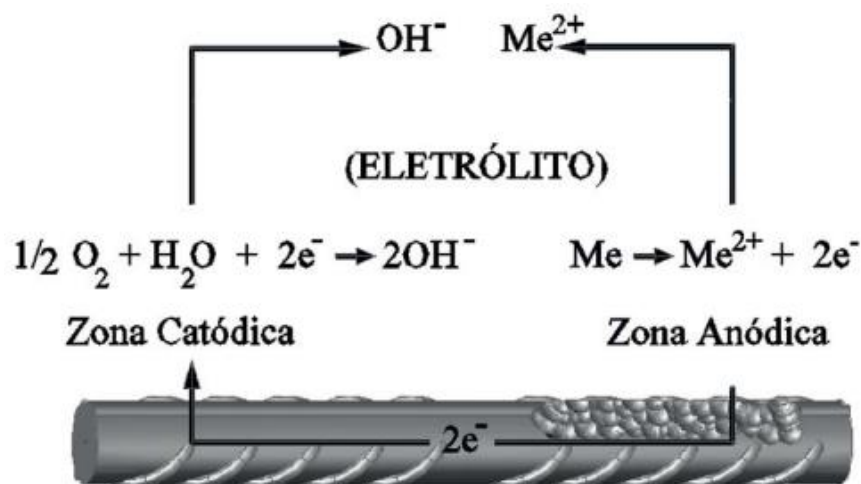
### 2.1.2 Corrosão eletroquímica

A corrosão eletroquímica consiste em um processo espontâneo que pode ocorrer quando o metal, ou liga, permanece em contato com um eletrólito, como a água do mar ou o ar atmosférico com umidade, onde ocorrem reações anódicas de oxidação e catódicas de redução simultaneamente, ocasionando a deterioração do material (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014). Este tipo de corrosão caracteriza-se por ocorrer necessariamente na presença de água, em grande parte das vezes à temperatura ambiente, e com a formação de uma pilha de corrosão, sendo mais comum na natureza (MERÇON; GUIMARÃES; MANIER, 2004).

Nesta pilha eletroquímica, existe a presença de um ânodo, caracterizado pela oxidação, ou seja, a passagem do material do estado metálico para o iônico, um cátodo, referente à redução, onde os elétrons formados na região anódica são consumidos, uma diferença de potencial e uma ligação metálica entre ambos e uma ligação externa, em que ocorre a condução iônica através do eletrólito (MEIRA, 2017). Quando retirados um destes componentes, elimina-se a pilha e diminui-se a possibilidade de corrosão (GENTIL, 2011).

A Figura 1 apresenta este fenômeno e as reações que ocorrem nas regiões catódica e anódica, destacadas por Meira (2017) para materiais em meios alcalinos, como o concreto.

Figura 1 – Pilha de corrosão com um mesmo metal



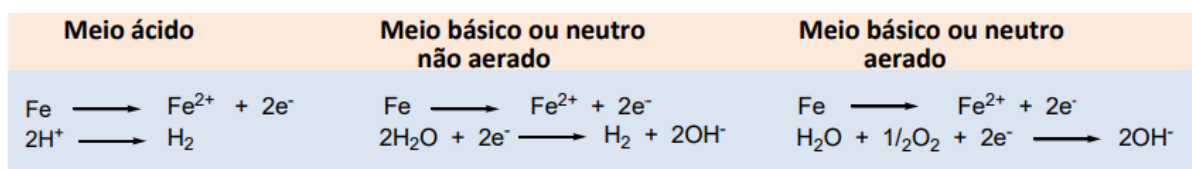
Fonte: Meira (2017).

Onde a equação da direita representa as reações de oxidação, enquanto a da esquerda representa as reações catódicas, em que ocorre o consumo dos elétrons produzidos na zona anódica (MEIRA, 2017).

Ribeiro *et al.* (2018) descreve que neste tipo de corrosão, ocorre a ação de um agente oxidante, como o oxigênio e o hidrogênio, que ao entrar em contato com a superfície do metal, passa a receber elétrons e, conseqüentemente, uma reação de redução. Os elétrons consumidos nesta reação, que ocorre no cátodo, são fornecidos pela reação de oxidação do metal, que acontece no ânodo, ocasionando a transferência de elétrons para o cátodo, que atua como um eletrodo, que então transforma-se em cátion, desprende-se da estrutura metálica e provoca a dissolução do metal (RIBEIRO *et al.*, 2018). Esta transferência de elétrons da região anódica para a catódica é realizada por meio de um condutor metálico e a difusão destes na solução fecha o circuito elétrico (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

A distância que a corrente elétrica pode percorrer em uma reação eletroquímica pode variar desde a dimensão da ordem de microns a quilômetros de distância, como em casos de dissolução de um metal em solução ácida e a corrosão de correntes de fuga de tubulações enterradas de estradas de ferro eletrificadas, respectivamente (WOLYNEC, 2003). Ainda, a intensidade do processo de corrosão pode ser avaliada pelo número de íons que são descarregados no cátodo ou pelo número de elétrons que migram do ânodo para o cátodo (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014), conforme os mecanismos eletroquímicos em meios ácidos e básicos ou neutros não aerados e aerados apresentados na Figura 2.

**Figura 2 – Mecanismos de corrosão eletroquímica em diferentes meios**

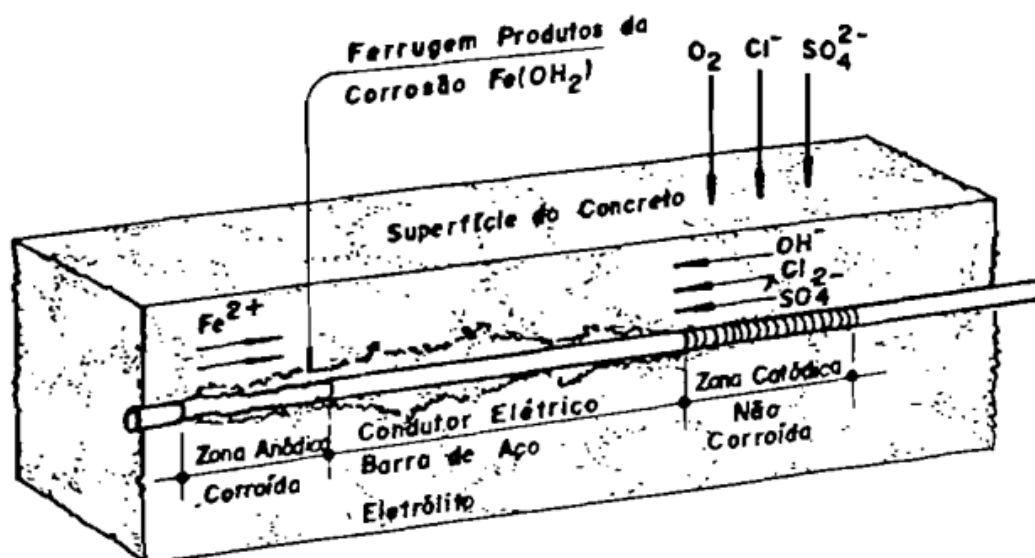


Fonte: Frauches-Santos *et al.* (2014).

Para as obras civis, a corrosão eletroquímica é considerada a mais importante, uma vez que ocorre nas estruturas de concreto armado e pode ocasionar deteriorações significativas, sempre havendo uma reação de oxidação, outra de redução e a circulação de íons através de um eletrólito (ANDRADE, 1988 *apud* MEIRA, 2017).

A corrosão das armaduras é uma manifestação específica da corrosão eletroquímica em meio aquoso, em que o eletrólito confinado a uma rede de poros existentes no concreto apresenta resistividade elétrica elevada (RIBEIRO *et al.*, 2018). Nestes casos, ocorre a formação de uma película de eletrólito sobre a superfície da armadura, originada pela presença de umidade no concreto, podendo ocorrer ainda durante seu armazenamento no canteiro de obras (RIBEIRO *et al.*, 2018). Este processo pode ser representado conforme a Figura 3, quando a armadura encontra-se despassivada (HELENE, 1993).

Figura 3 – Pilha de corrosão eletroquímica no concreto



**NOTAS:**

- 1)  $\text{Cl}^-$  E  $\text{SO}_4^{2-}$  ELEMENTOS AGRESSIVOS EVENTUAIS
- 2) ARMADURA DESPASSIVADA
- 3) DISTÂNCIA ENTRE ÂNODO E CÁTODO PODE VARIAR DE DIMENSÕES MILIMÉTRICAS A MÉTRICAS

Fonte: Helene (1993).

No concreto, a corrosão desenvolve-se em presença de água ou em ambientes com umidade relativa elevada ( $UR > 60\%$ ), não ocorrendo corrosão em concretos secos devido à ausência de eletrólitos, nem em concretos totalmente saturados por não haver acesso suficiente ao oxigênio (RIBEIRO *et al.*, 2018).

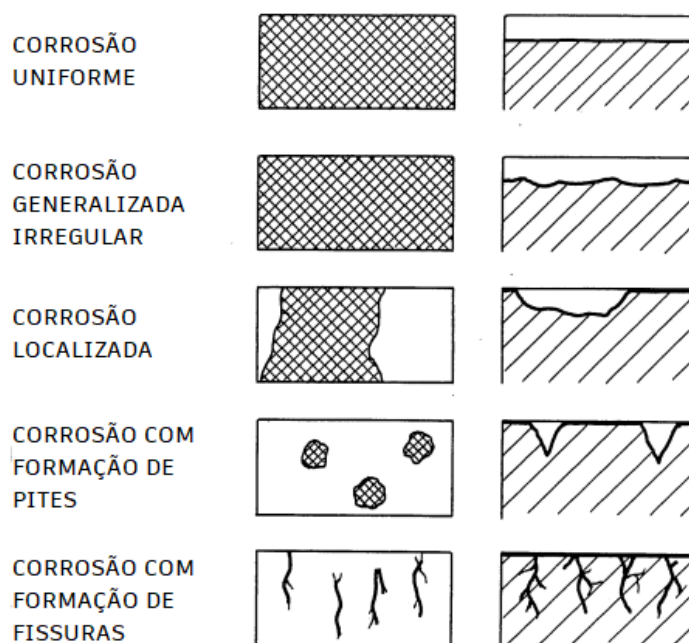
Uma maior presença de eletrólito facilita a passagem de uma maior corrente iônica, acelerando o processo de corrosão, enquanto uma menor presença aumenta a resistividade do sistema e conseqüentemente reduz a velocidade de corrosão (MEIRA, 2017).

## 2.2 Tipos de corrosão

A corrosão pode manifestar-se de diversas formas e pode ser classificada quanto ao seu aspecto e distribuição pela área afetada (HELENE, 1993).

Andrade Perdrix (1992) descreve que os tipos de corrosão mais frequentes são: generalizada, localizada, por pites e fissurante, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Tipos de corrosão



Fonte: Adaptado de Feliú (1984).

Para as estruturas de concreto armado, as formas de corrosão mais encontradas são: corrosão generalizada irregular por carbonatação e corrosão por pites por ação de íons cloreto (Figura 5) (MEIRA, 2017).

**Figura 5 – Aparência superficial da corrosão generalizada pela carbonatação do concreto (a) e puntiforme pela ação de íons cloreto (b)**



Fonte: MEIRA (2017).

Na corrosão generalizada, o ataque atinge extensas áreas do material, onde na superfície do metal existem inúmeros ânodos e cátodos que formam micropilhas que sofrem alterações a todo momento, podendo a perda de seção apresentar-se de forma uniforme ou irregular (MEIRA, 2017). Neste caso, ocorre essencialmente a diminuição da alcalinidade do concreto por reação com substâncias ácidas do meio, permitindo a dissolução da capa passivadora (ANDRADE PERDRIX, 1992).

Na corrosão localizada, o desgaste ocorre em uma superfície limitada e, em geral, tende a aprofundar-se mais rapidamente do que o processo de corrosão generalizada, sendo um ataque intermediário entre a corrosão uniforme e a corrosão

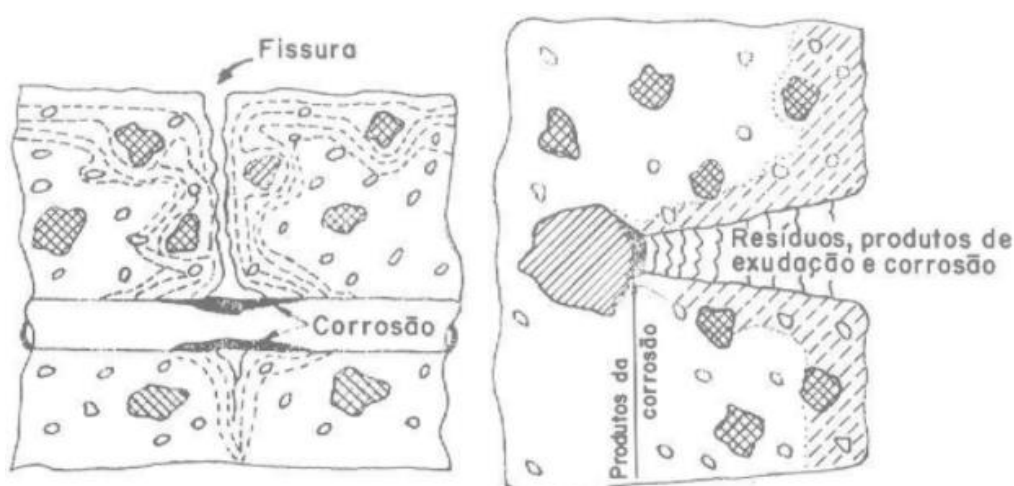
por pites (MEIRA, 2017). Alguns dos fatores que podem provocar a corrosão localizada são: íons despassivantes, como cloretos, sulfatos e sulfetos, pilhas de pH e de aeração diferencial, pilhas galvânicas e correntes erráticas (ANDRADE PERDRIX, 1992).

Na corrosão por pites, o ataque ocorre de forma pontual em pequenas zonas do material, sendo comum no caso da ação de contaminantes que têm a propriedade de romper em pontos específicos a capa passiva (MEIRA, 2017).

É principalmente causado pela presença de íons cloreto e resulta na formação de uma cavidade que se propaga rapidamente e ocasiona considerável deterioração das propriedades mecânicas da armadura (RIBEIRO *et al.*, 2018), podendo até mesmo produzir a ruptura pontual das barras (ANDRADE PERDRIX, 1992). Além disso, Ribeiro *et al.* (2018) destaca que pode ser considerada como o tipo mais grave de corrosão que ocorre em armaduras de aços.

Na corrosão com formação de fissuras, ou fissurante, o metal encontra-se submetido a fortes tensões de tração, ocasionando fissuras no material, que se propagam na direção transversal à carga, produzindo rupturas com baixos níveis de tensão (MEIRA, 2017), conforme apresentado na Figura 6.

**Figura 6 – Corrosão em fissuras transversais e longitudinais**



Fonte: Andrade Perdrinx (1992).

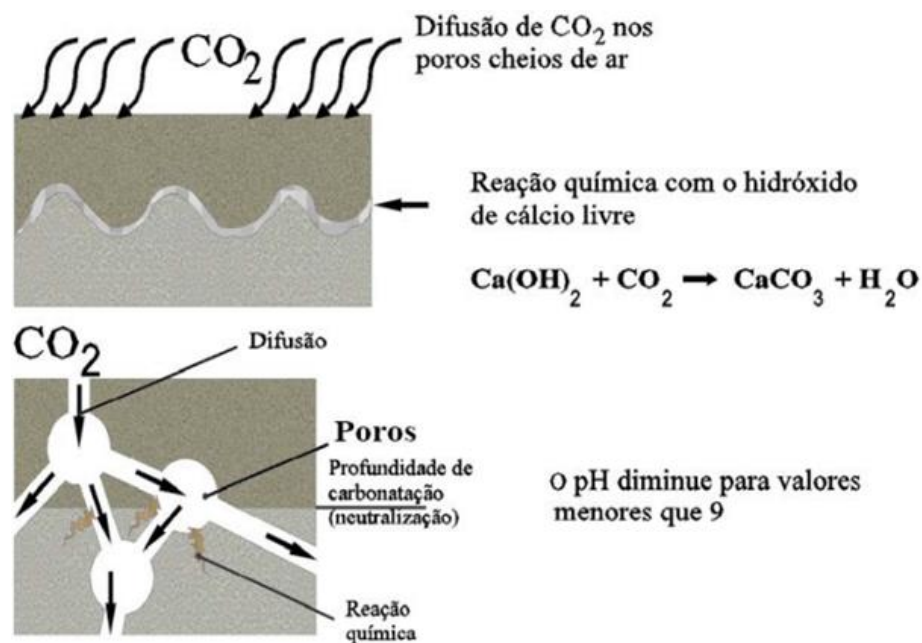
Ainda, em estruturas protendidas, é possível ocorrer o fenômeno de corrosão sob tensão, no qual a associação das ações eletroquímicas com as mecânicas favorece o surgimento de fissurações no metal (MEIRA, 2017).

### 2.2.1 Corrosão em função da carbonatação do concreto

O fenômeno da carbonatação consiste, resumidamente, em um processo físico-químico entre o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e os compostos da pasta de cimento, que ocasionam a precipitação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (SILVA, 2013) e a redução da alcalinidade do concreto (ANDRADE PERDRIX, 1992).

Este processo ocorre lentamente, segundo a reação principal da Figura 7 (HELENE, 1993) e pode ser devido a uma “lixiviação” por circulação de águas puras ou pouco ácidas, ou ainda pela reação de compostos básicos como  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  e  $\text{Ca(OH)}_2$  da fase aquosa do concreto com os componentes ácidos da atmosfera  $\text{CO}_2$  e  $\text{SO}_2$  (ANDRADE PERDRIX, 1992).

Figura 7 – Representação do avanço do processo de carbonatação

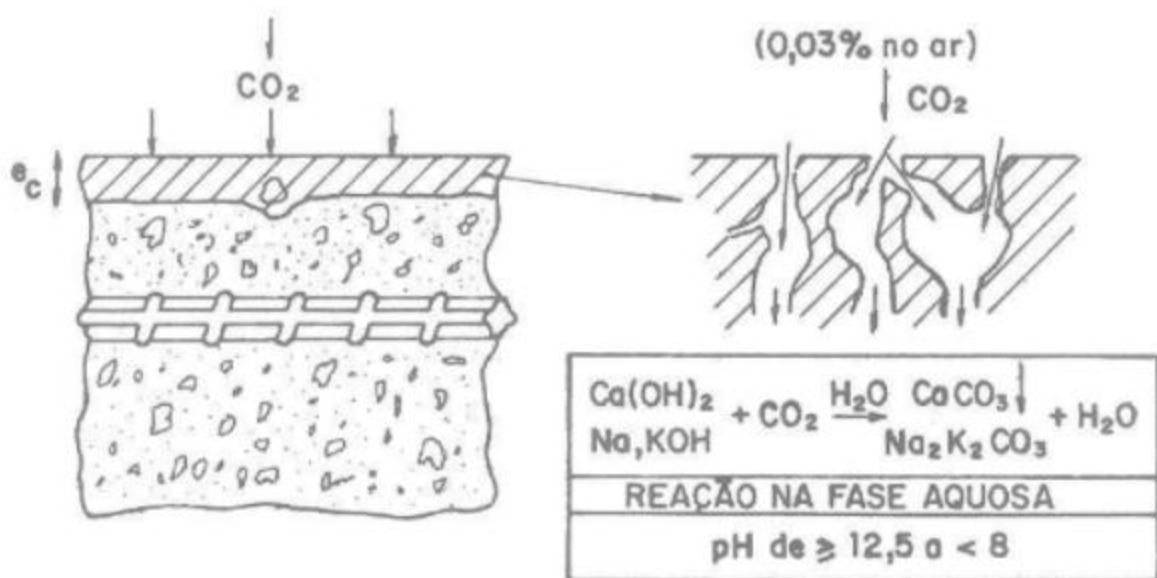


Fonte: Adaptado de CEB (1984 *apud* Meira, 2017).

Quando o concreto é exposto a gases como o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), pode ocorrer a redução do pH em seus poros, atingindo valores próximos a 8, e a redução da alcalinidade da solução intersticial, ocorrendo um processo de neutralização por conta do gás carbônico que transforma os compostos do cimento em carbonatos (RIBEIRO *et al.*, 2018), comprometendo a estabilidade da película de passivação (MEIRA, 2017).

Este processo ocorre de fora para dentro, gerando uma frente carbonatada onde ocorre a redução do pH e outra região interior ainda não afetada, onde o pH mantém-se elevado (MEIRA, 2017), conforme apresentado na Figura 8.

**Figura 8 – Carbonatação do cobrimento do concreto**



Fonte: Adaptado de Andrade Perdrix (1992).

Estes gases são usualmente originados da queima de combustíveis, como hidrocarbonetos (gasolina, óleo, etc) e carvão, não sendo corrosivos para materiais metálicos em temperatura ambiente (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Ainda, embora não necessária para a formação da carbonatação, quando em ação conjunta com a água, o  $\text{CO}_2$  origina o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), que também ocasiona a carbonatação do concreto e conseqüentemente a deterioração desse material (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Alguns fatores que influenciam o processo de carbonatação estão relacionados à condição de exposição da estrutura, como o meio ambiente em que está inserida em razão da umidade relativa, concentração de CO<sub>2</sub> e da temperatura, bem como fatores relacionados ao concreto, como consumo e tipo de cimento, porosidade, condições de cura, uso de adições minerais, entre outros (PAULETTI, 2004).

Além disso, em poros saturados de água, a difusão de CO<sub>2</sub> será desprezível, enquanto em poros excessivamente secos não haverá água para que a reação possa ocorrer (HELENE, 1993).

A carbonatação é responsável por um pequeno incremento de retração e concretos carbonatados são mais resistentes e impermeáveis à penetração de agentes agressivos que concretos não carbonatados, porém a redução da alcalinidade da solução presente nos poros ao redor da armadura reduz consideravelmente as condições de estabilidade química da capa passivadora do aço (HELENE, 1993).

### 2.2.2 Corrosão em função da ação de íons cloreto

A presença de cloretos é considerada a situação mais agressiva e a responsável pelo maior número de casos de corrosão de armaduras (ANDRADE PERDRIX, 1992).

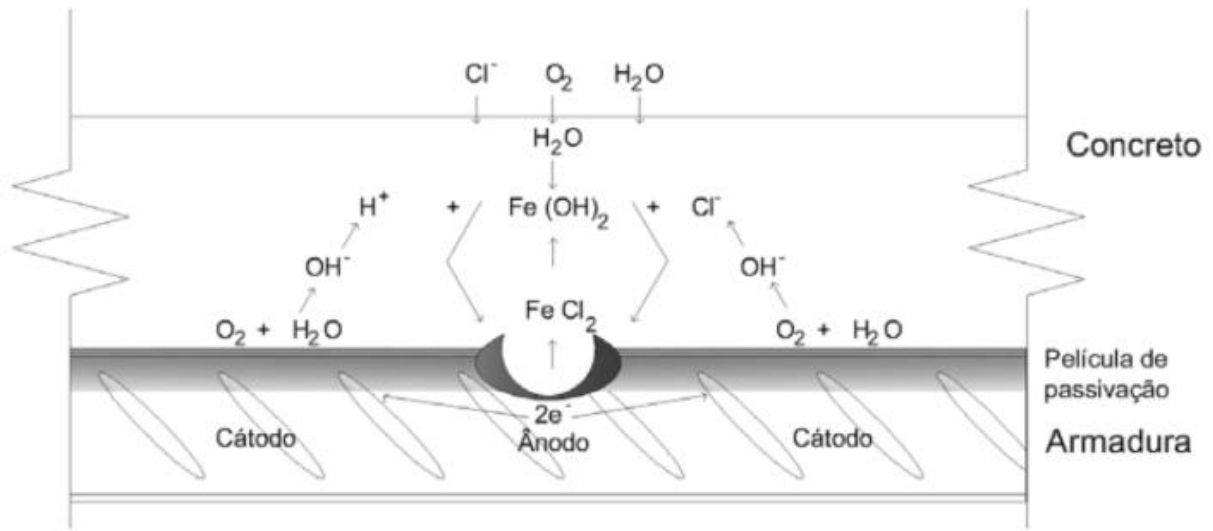
Quando em contato com a armadura, a presença de uma concentração crítica (C<sub>c</sub>) de íons cloreto em conjunto com a água e o oxigênio provocam a despassivação do aço, iniciando a corrosão localizada deste (HELENE, 2005).

As aberturas do concreto armado servem como um caminho de penetração dos agentes agressivos até a armadura, possibilitando o aparecimento de corrosão nas áreas não recobertas de concreto, atuando como ânodo, enquanto as adjacentes agem como cátodo (ANDRADE PERDRIX, 1992).

Este fenômeno considera que a ruptura da capa passiva ocorre com ciclos de despassivação e repassivação, até que a despassivação ocorra de forma definitiva, gerando uma corrosão por pites (MEIRA, 2017). Nele, os íons Cl<sup>-</sup> competem com os íons OH<sup>-</sup> para a produção de íons ferrosos pela corrosão, formando um complexo

solúvel de cloreto de ferro, que pode se difundir a partir das áreas anódicas e destruir a camada protetora de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , possibilitando a continuação do processo corrosivo (CASCUDO, 1997). A Figura 9 apresenta um esquema mostrando a corrosão por pite, onde os  $\text{Cl}^-$  despassivam a armadura e formam o complexo transitório.

**Figura 9 – Formação do pite de corrosão pela ação dos íons cloreto**



Fonte: Treadaway (1988 *apud* Meira, 2017).

Neste processo, os íons cloreto combinam-se com os íons de ferro, formando moléculas de cloreto de ferro, que perdem estabilidade e por meio do processo de hidrólise, liberam os íons cloreto para íons de hidrogênio e novas reações (MEIRA, 2017).

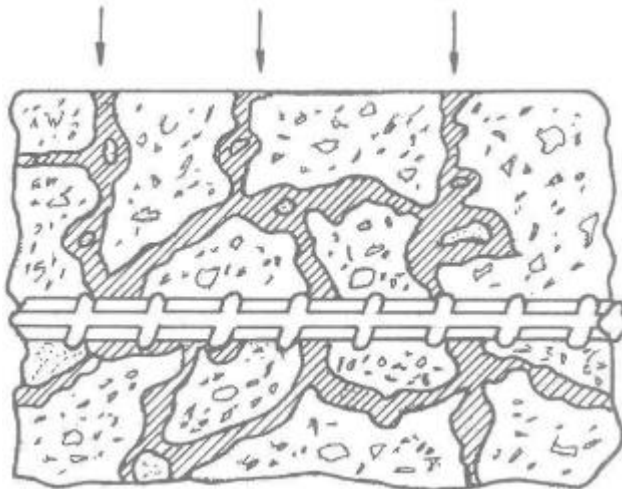
Esses íons contribuem para que a zona anódica tenha o seu pH diminuído e o potencial do aço, nessa zona, seja mais negativo. Por outro lado, a liberação de hidróxidos, devido às reações catódicas, aumenta o pH dessas áreas. Assim, a corrosão por pites se sustenta diminuindo o pH das zonas anódicas e aumentando o pH das zonas catódicas próximas, o que diminui a possibilidade de corrosão futura nessas últimas zonas. Com o avanço do processo de corrosão, mais íons cloreto penetram no concreto, somando-se aos já existentes para participarem de novas reações (MEIRA, 2017, p.32).

O valor de concentração crítica ( $C_c$ ) depende de diversos fatores, como o pH, o teor de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) no cimento e, em alguns casos, do teor de umidade do concreto (HELENE, 2005).

Além disso, o tempo em que os cloretos levam para chegar à armadura, denominado período de iniciação, dependerá principalmente dos seguintes fatores: concentração de cloretos no meio externo, natureza do cátion que acompanha o cloreto, temperatura, abertura e quantidade de fissuras, qualidade do concreto (tipo de cimento, teor de cimento, proporção de  $C_3A$ , a/c, etc), e ainda a direção predominante do vento e a insolação têm considerável influência neste fenômeno (ANDRADE PERDRIX, 1992).

O ingresso de cloretos no concreto pode ocorrer pela utilização de aditivos e/ou agregados que contenham este tipo de íons durante a produção do concreto ou devido à interação com o meio ambiente (HELENE, 2005) por penetração através da rede de poros (Figura 10), como em ambientes marinhos ou devido ao emprego de sais de degelo em estradas ou pontes em climas frios (ANDRADE PERDRIX, 1992).

**Figura 10 – Exemplo simplificado da rede de poros do concreto**



Fonte: Andrade Perdrix (1992).

Andrade Perdrix (1992) destaca que, nestes casos, a quantidade de cloretos é incrementada com o tempo, podendo provocar velocidades de corrosão muito perigosas e intensas e afetar toda a superfície da armadura.

## 2.3 Características do concreto e influência no processo corrosivo

Tratando-se do período de iniciação da corrosão, algumas das propriedades com maior influência deste processo estão relacionadas à porosidade do concreto, ao seu potencial alcalino, e à capacidade de fixação de cloretos na matriz cimentícia (MEIRA, 2017). A influência de cada um destes itens será descrita a seguir.

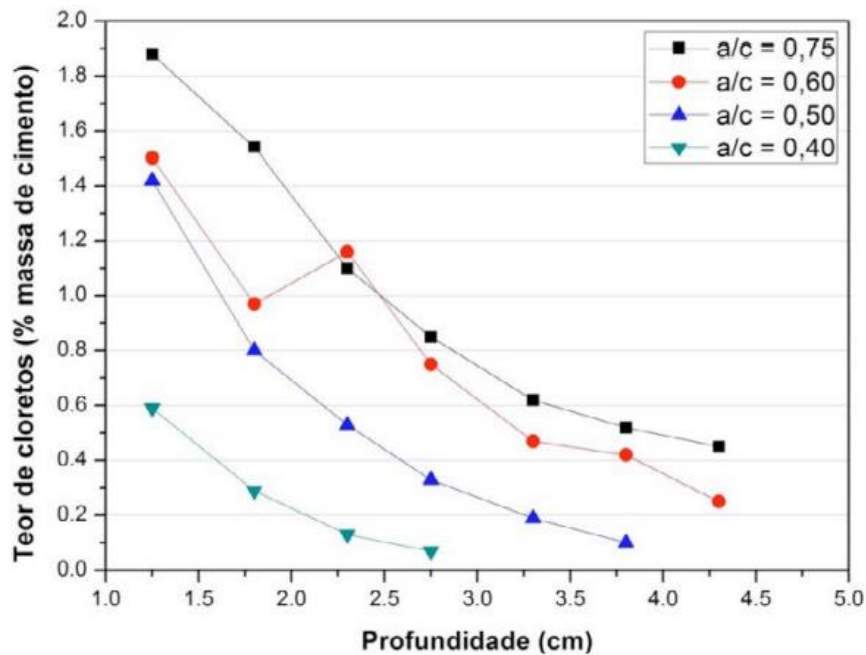
### 2.3.1 Influência da porosidade do concreto

A porosidade está diretamente relacionada à velocidade de transporte dos agentes agressivos para o interior do concreto (MEIRA, 2017), uma vez que o fluxo de água, de cloretos e de CO<sub>2</sub> ocorre entre os poros capilares interconectados do concreto, que por sua vez estão associados à relação água/cimento e ao grau de hidratação do cimento (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Os concretos que possuem uma maior relação água/cimento (a/c) apresentam desempenho inferior em relação aos com menor a/c, resultando em maiores coeficientes de carbonatação ou perfis de cloretos com maiores concentrações de cloretos totais (MEIRA, 2017). Uma baixa a/c retarda a difusão de cloretos, dióxido de carbono e oxigênio, além de dificultar a entrada de umidade e agentes agressivos para o interior do concreto, uma vez que ocorre a redução no volume de poros e na permeabilidade (CASCUDO, 1997).

Este efeito pode ser visualizado na Figura 11, que mostra a influência da relação água/cimento na penetração dos cloretos no concreto, obtidos à mesma idade.

Figura 11 – Influência da relação água/cimento (a/c) na penetração de cloretos no concreto



Fonte: Meira (2017).

Ribeiro *et al.* (2018) descreve que o uso de adições minerais, as condições de cura e o consumo de cimento também podem alterar a porosidade do concreto. Adições minerais como sílica ativa, cinza volante, e outros reduzem a porosidade da matriz, enquanto condições de cura malconduzidas aumentam a porosidade e um maior consumo de cimento na redução da porosidade, contribuindo para o aumento ou redução da velocidade de agentes agressivos no concreto (MEIRA, 2017).

### 2.3.2 Influência da composição do cimento

No geral, concretos com adições de escória de alto-forno ou materiais pozolânicos, como cinza volante ou sílica ativa, apresentam estruturas mais compactas e consideravelmente melhores desempenhos em relação ao concreto com cimento Portland comum, quando avaliados em relação à penetração de líquidos, gases e íons, incluindo os cloretos (CASCUDO, 1997). No entanto, cimentos com estas adições têm uma menor resistência à carbonatação, quando comparados aos cimentos Portland puros, por conta da diminuição da reserva alcalina ocasionada pela reação da adição (RIBEIRO *et al.*, 2018).

### 2.3.3 Potencial alcalino

O potencial alcalino refere-se à reserva de alcalinidade que o material cimentício possui, frente à redução de alcalinidade resultante da carbonatação e à concentração de cloretos necessária para dar início ao processo de corrosão da armadura (MEIRA, 2017). Concretos que possuem maior quantidade de hidroxilas possuem maior tolerância à presença de cloretos, enquanto concretos com menores reservas alcalinas levam menos tempo para carbonatar sua capa de cobrimento (MEIRA, 2017).

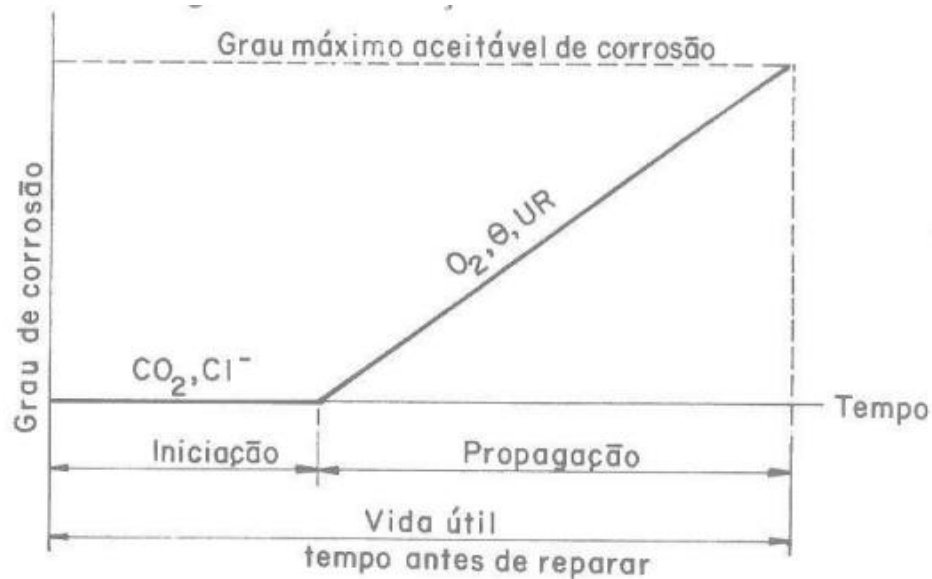
## 2.4 Durabilidade e vida útil

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define a durabilidade como a capacidade de a estrutura resistir às influências previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. Isto é, a capacidade de um material de suportar as solicitações para as quais foi concebido, ao longo de um período, em decorrência de processos patológicos instalados de naturezas diversas que comprometem o desempenho do material (RIBEIRO *et al.*, 2018).

A vida útil consiste no período em que as estruturas de concreto mantêm suas características, enquanto são atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como a execução de reparos necessários decorrentes de danos acidentais durante sua utilização (ABNT, 2014).

Em relação ao ataque por corrosão nas armaduras do concreto, Tuutti (1982) propôs um modelo qualitativo simplificado, em que relaciona o grau de corrosão, seu período de iniciação e de propagação com o tempo de vida útil da estrutura (ANDRADE PERDRIX, 1992), apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Modelo de vida útil de Tuutti



Fonte: Andrade Perdrix (1992).

O período de iniciação representa o tempo em que o agente agressivo leva para atravessar o revestimento, alcançar a armadura e provocar sua despassivação, enquanto o período de propagação refere-se ao processo progressivo cumulativo de deterioração, até atingir um nível inaceitável (ANDRADE PERDRIX, 1992), uma vez que as interações com o meio ambiente, a microestrutura e as propriedades dos materiais sofrem alterações ao longo do tempo (RIBEIRO *et al.*, 2018).

## 2.5 Perda de seção transversal de aço resistente

As barras que apresentarem indícios de corrosão devem ter estes sinais removidos de sua superfície e ter suas seções transversais medidas para verificação da perda de seção de aço (SILVA, 2018).

Alguns dos fatores que influenciam esta perda de seção são a resistência à tração do concreto, espessura do revestimento, módulo de elasticidade do concreto, diâmetro da armadura, porosidade do concreto, natureza dos produtos de corrosão, entre outros, podendo em muitos casos, ocorrer fissuras com perdas inferiores ao limite (HELENE, 2014).

Segundo o CEB, a perda de seção do aço ( $\Delta A_s/A_s$ ) é considerada crítica entre 10% e 25%. Contudo, tem-se como um valor limite comumente adotado para a necessidade de substituição de barras corroídas uma diminuição superior a 20% do diâmetro da barra, sendo suficiente para condenar ou indicar a necessidade de manutenção imediata de uma estrutura (GRAEFF *et al.*, 2007), embora de 5 a 10% os danos estéticos e de risco às pessoas já devem ser considerados (HELENE, 2014).

Cascudo (1997) destaca que embora concretos mais compactos sejam mais resistentes e menos vulneráveis ao ataque corrosivo, estes produzem tensões internas mais elevadas em relação a concretos mais porosos devido à falta de espaços vazios em seu interior, podendo gerar lascamentos e fissurações antes de as perdas de seção atingirem estes valores críticos (REIS, 2001).

Uma vez verificada uma perda de seção na barra igual ou superior ao valor crítico, esta deve ser recomposta e, se possível, devem ser realizados ensaios de resistência para comparação entre as peças deterioradas e as que encontram-se em bom estado, podendo fazer-se necessária a instalação de novos estribos e/ou barras longitudinais (SILVA, 2018).

Ainda, Helene (2014) ressalta que, além das armaduras principais, deve-se analisar os estribos do elemento, uma vez que estes possuem menor diâmetro, ficam localizados mais próximos da superfície externa e seu rompimento pode ocasionar perda da estabilidade geométrica por flambagem das armaduras principais.

## **2.6 Agressividade ambiental**

A agressividade ambiental corresponde às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente de ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica, retrações hidráulicas, entre outras (ABNT 6118, 2014), que podem produzir consequências físicas e químicas nocivas de deterioração do concreto e ocasionar a corrosão das armaduras constituintes (BOLINA, 2013).

A agressividade do meio deve ser classificada conforme o Quadro 1, segundo às condições de exposição da estrutura (ABNT 6118, 2014).

**Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental**

<b>Classe de agressividade ambiental</b>	<b>Agressividade</b>	<b>Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto</b>	<b>Risco de deterioração da estrutura</b>
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Estruturas inseridas no mar possuem um contato mais intenso com o agente agressivo e zonas de atmosfera marinha mantêm contato gradual e mais lento com os íons cloreto em função da névoa salina, que depende de fatores como o vento, distância em relação ao mar, entre outros (MEIRA, 2017).

## 2.7 Cobrimento

Em relação à corrosão da armadura, o cobrimento do concreto tem como função proteger a capa passivante protetora da armadura contra danos físicos e mecânicos, além de manter sua estabilidade química (HELENE, 2005). Este possui grande importância, uma vez que, frente à agressividade ambiental, especificações de projeto inadequadas e erros executivos podem facilitar o início ou acelerar processos de corrosão existentes (CASCUDO, 1997).

Assim sendo, um cobrimento adequado das armaduras garante a proteção ao aço contra o ataque de agentes corrosivos externos, impedindo o progresso da corrosão através de uma barreira física e de uma proteção de natureza química (HELENE, 2005).

Para que o cobrimento atenda aos requisitos estabelecidos na norma NBR 6118 (ABNT, 2014), são estabelecidos valores para o cobrimento mínimo ( $c_{min}$ ) da armadura, referente ao menor valor a ser respeitado ao longo de todo o elemento

considerado, além de, no projeto e na execução, ser considerado o cobrimento nominal ( $c_{nom}$ ), que corresponde ao  $c_{min}$  acrescido da tolerância de execução.

A Tabela 1 apresenta as classes de agressividade ambiental e seus respectivos valores de cobrimento nominal mínimo.

**Tabela 1 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para concreto armado**

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Contudo, a espessura mínima de cobrimento deve estar associada a determinadas características do concreto, como  $F_{ck}$  mínimo e  $a/c$  máxima, além de ter um preenchimento adequado de fôrmas para evitar nichos de concretagem, uma vez que fatores relativos aos materiais e às estruturas, como a fissuração do concreto, estão associados à antecipação do aparecimento de corrosão nas estruturas (CASCUDO, 1997).

## 2.8 Passivação

A passivação corresponde à resistência à corrosão proporcionada por uma fina e transparente película de um filme de óxido estável e aderente que se forma sobre a superfície do metal, conferindo ao metal proteção por meio de uma corrosão benéfica (HELENE, 1993). Devido à elevação do pH provocada pela produção de íons hidroxila, são criadas condições favoráveis para a formação desta película

(WOLYNEC, 2003), que se forma a partir de uma intensa e rápida reação eletroquímica (ANDRADE-POURBAIX, 1987 *apud* MEIRA, 2017) e é protegida pela alta alcalinidade do meio e pelo potencial eletroquímico da armadura (MEIRA, 2017).

O concreto fornece além de uma proteção física à armadura por meio do cobrimento do concreto, uma proteção química, uma vez que seu elevado pH contribui para a formação e estabilidade desta capa passiva, que protege a armadura de uma futura corrosão (MEIRA, 2017).

A perda do filme passivante expõe a armadura ao processo corrosivo, resultando na gradativa perda de seção das barras de aço da estrutura, podendo comprometer a capacidade portante da estrutura (ARAUJO, 2016).

## **2.9 Interação ambiente-estrutura**

As condições de interação da estrutura de concreto com o ambiente influenciam na forma em que este reage às condições ambientais e no modo de contato do agente agressivo com a estrutura (MEIRA, 2017).

### **2.9.1 Concentração do agente agressivo no ambiente**

A quantidade de agentes agressivos no ambiente influencia de forma considerável o período de início da corrosão, uma vez que quanto maior a concentração de CO<sub>2</sub> e/ou de íons cloreto no ambiente, maior a velocidade de avanço da corrosão (MEIRA, 2017), especialmente em concretos com alta relação água/cimento, uma vez que são mais porosos (RIBEIRO *et al.*, 2018).

### **2.9.2 Teor crítico de cloretos**

Para que o processo de corrosão por íons cloreto possa ser iniciado, é necessário que estes cheguem à estrutura em quantidade suficiente para despassar a armadura (MEIRA, 2017). Esta quantidade é denominada limite crítico de cloretos.

A propagação do processo corrosivo ocorre apenas quando a concentração crítica de cloretos atinge as proximidades da armadura (ANDRADE, 2001) e o tempo

necessário para que este teor crítico atinja a superfície depende de fatores como o meio ambiente, as características dos materiais e a interface aço-concreto (MEIRA, 2017).

O teor de cloretos é considerado crítico para a corrosão de armaduras, quando a relação de  $CL^-/OH^-$  da solução dos poros variar de 0,6 a 1,0, correspondente ao valor de 0,2 a 0,4% em relação à massa de cimento (SOYLEV; FRANÇOIS, 2003 *apud* TAVARES, 2006).

Contudo, em função da grande quantidade de intervenientes e da variabilidade verificada no momento de medição do teor de cloretos no concreto, este valor é de difícil obtenção, sendo mais utilizada como parâmetro a representação do teor crítico pela determinação da quantidade de cloretos em relação à massa de cimento ou concreto (ALONSO *et al.*, 1997 *apud* ANDRADE, 2001).

### 2.9.3 Umidade ambiental

A atmosfera e o microclima que envolvem a estrutura de concreto têm grande influência no processo de corrosão (HELENE, 1993), podendo-se associar a umidade relativa do ar ao grau de saturação dos poros (RIBEIRO *et al.*, 2018). As condições de umidade do ambiente influem na quantidade de água nos poros do concreto e, portanto, no transporte de agentes agressivos e nas reações químicas relacionadas (MEIRA, 2017).

No caso da carbonatação, a umidade ótima para o seu avanço situa-se entre 50% e 80% (ANDRADE PERDRIX, 1992). Isto ocorre pois quando os poros encontram-se parcialmente cheios de água, tem-se um cenário favorável para seu avanço (MEIRA, 2017) e quando os poros encontram-se secos, o  $CO_2$  difunde pela rede porosa facilmente, mas não ocorre pela falta de água, enquanto quando completamente saturados, progridem lentamente por conta da baixa difusibilidade do  $CO_2$  na água (ANDRADE, 2001).

Para o transporte de cloretos, baixos teores de umidade favorecem o transporte por absorção capilar, como em estruturas marinhas em zonas de respingo e de variação de maré, enquanto altos teores favorecem por difusão, como em estruturas submersas (MEIRA, 2017).

O aumento de umidade favorece o ingresso de íons cloreto, que tem seu transporte por meio aquoso, porém em ambientes completamente saturados ocorre a inibição do processo corrosivo devido ao acesso insuficiente ao oxigênio (RIBEIRO *et al.*, 2018).

## 2.10 Diagnóstico e monitoramento de corrosão

Para o processo de diagnóstico da corrosão, pode-se empregar metodologias gerais de inspeção e diagnóstico como a proposta pelo *Comité International du Batiment* (CIB) de 1993, em que são feitas etapas de análise e identificação de anomalias por inspeção visual, registros fotográficos, análise dimensional, pré-diagnóstico com estudos da edificação, referenciais bibliográficos e materiais e diagnóstico com investigações de campo, ensaios de laboratório, entre outros (MEIRA, 2017).

O monitoramento da corrosão consiste na utilização de técnicas para avaliação preventiva ou corretiva do desenvolvimento de processos corrosivos que possam comprometer a integridade de estruturas (NUNES, 2007), tendo grande importância para que possíveis problemas sejam acompanhados e mantidos sob controle (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Meira (2017) e Ribeiro *et al.* (2018) citam como algumas das técnicas e processos de análise mais utilizados as medidas do potencial de corrosão, da profundidade de carbonatação, da concentração de cloretos, da resistividade superficial do concreto e da velocidade de corrosão.

### 2.10.1 Profundidade de carbonatação

O avanço da carbonatação faz com que o concreto apresente uma zona mais externa carbonatada, onde ocorre a redução do pH do concreto, usualmente entre 8 e 9,5, e uma zona mais interna, onde o pH mantém-se em níveis mais elevados, entre 12,5 e 14 (MEIRA, 2017).

A espessura da capa superficial carbonatada ou que sofreu lixiviação é denominada “profundidade de carbonatação” (ANDRADE PERDRIX, 1992) e sua

determinação é preconizada por alguns documentos orientadores como BS EN 14630 (2007), ISO 1920-12 (2015) e BRE Digest 405 (RIBEIRO *et al.*, 2017).

Para medir esta profundidade, é comum a utilização de soluções indicadoras de pH, como fenolftaleína e timolftaleína, a 1% em álcool etílico (MEIRA, 2017), ou ainda, uma mistura de 1 g de fenolftaleína dissolvida em 70 ml de álcool etílico diluídos em 100 ml de água destilada ou deionizada, conforme recomendado pela norma europeia supracitada (FARIAS; SILVA, 2019).

Esta solução, em primeiro momento incolor, é aspergida sobre a superfície do concreto e assume uma coloração roxo-púrpura quando o pH é superior a 9,5, ou uma coloração entre rosa ao roxo-púrpura para pHs entre 8,3 e 9,5 e mantém-se incolor para casos em que o pH é inferior a 8,3 (ANDRADE PERDRIX, 1992). Para soluções de timolftaleína, esta assume a coloração azul quando o pH é superior a 10,3 e mantém-se incolor para pHs inferiores (ANDRADE PERDRIX, 1992).

Este tipo de medida permite a avaliação do avanço da frente de carbonatação, podendo ser realizada utilizando-se testemunhos ou diretamente na estrutura analisada, de modo a avaliar se a carbonatação chegou ao nível da armadura (MEIRA, 2017). A Figura 13 apresenta exemplos de medidas de carbonatação utilizando soluções de fenolftaleína e timolftaleína.

**Figura 13 – Medidas de carbonatação com soluções de fenolftaleína e timolftaleína**



Fonte: MEIRA (2017).

### 2.10.1.1 *Método de ensaio*

Para sua determinação, pode-se realizar a extração de uma amostra a seco ou realizar o ensaio sobre um orifício perfurado a seco, em fratura fresca, de modo a não carbonatar rapidamente, com dimensões suficientes para verificar a espessura da capa carbonatada (ANDRADE PERDRIX, 1992).

É recomendada a medida em regiões críticas como cantos, esquinas, próximo a agregados graúdos e pontos onde maiores profundidades de carbonatação sejam esperados (ANDRADE PERDRIX, 1992).

Posteriormente, deve-se pulverizar, a solução indicadora de fenolftaleína ou timolftaleína em até 1 ou 2 minutos. Procede-se então à medida da profundidade colorida pelo indicador, devendo a medição ser feita com uma precisão de milímetros e anotados os locais e a frequência onde ocorrerem as alterações de coloração (ANDRADE PERDRIX, 1992). Caso a linha de troca de cor seja ondulada, devem ser tomadas ao menos dez medidas em diferentes pontos e calculadas a média aritmética e profundidade máxima (ANDRADE PERDRIX, 1992).

### 2.10.2 Determinação do teor de cloretos

Em ambientes onde há presença de íons cloreto, podem ser efetuadas medidas de concentração de cloretos no concreto para a obtenção de perfis de concentração de íons desde a superfície ao seu interior e, assim, com o perfil de cloretos determinado, é possível verificar a concentração de cloretos ao nível da armadura (MEIRA, 2017).

A extração das amostras pode ocorrer por meio de furos no concreto com controle de profundidade ou pela retirada de testemunhos de concreto (MEIRA, 2017). Esta amostra deve ser obtida a seco na forma de pó, uma vez que o uso de água pode solubilizar ou lixiviar partes dos cloretos, e pode ser realizada com auxílio de furadeira, permitindo uma análise dos teores nas profundidades estipuladas e traçar perfis de concentração de cloretos ao longo da profundidade do cobrimento do concreto (CASCUDO, 1997).

Posteriormente, a amostra é seca em estufa e os cloretos solúveis das amostras são retirados do concreto em solução aquosa, sendo os teores expressos em porcentagem, relativos à massa de cimento (CASCUDO, 1997). Para os cloretos totais presentes nas amostras de concreto, a extração pode ser realizada com a dissolução do concreto em ácido nítrico e para cloretos solúveis, em água destilada ou deionizada (CALÇADA, 2004).

Os procedimentos preconizados em normalização diferem na quantidade de água, na temperatura a ser atingida por aquecimento, no procedimento de agitação da solução e no tempo de suspensão da amostra (CALÇADA, 2004).

Após a extração dos cloretos, o material suspenso é filtrado e utiliza-se o líquido passante por um papel filtro para a determinação do teor de cloretos (CALÇADA, 2004), que podem ser determinados por meio de métodos volumétricos, como os de Mohr e Volhard, métodos potenciométricos ou métodos gravimétricos (CASCUDO, 1997).

O método de Mohr consiste na titulação da solução que possui o cloreto com uma solução padrão de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) juntamente com o indicador cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ), devendo a solução de cloreto ser neutra e a titulação ocorrer até atingir o ponto de equivalência, formando o cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ), em que verifica-se a mudança na coloração do indicador para vermelho (CASCUDO, 1997).

O procedimento descrito na norma NBR 13797 (1997), de nome "Água - Determinação de cloretos - Métodos titulométricos do nitrato mercúrico ( $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ) e do nitrato de prata" para o método titulométrico do nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) consiste resumidamente em:

- 1) Medir 100 ml da amostra ou uma alíquota diluída a 100 ml;
- 2) Ajustar o pH da amostra entre 7 e 10 com solução de ácido sulfúrico 1 N ou solução de hidróxido de sódio 0,1 N;
- 3) Adicionar 1 ml da solução indicadora de cromato de potássio;
- 4) Titular com solução de nitrato de prata 0,0141 N até o aparecimento de cor amarela-rosada;
- 5) Titular uma prova em branco, usando água destilada;

6) Calcular a concentração de cloretos utilizando a Equação 1.

$$mg/L Cl = \frac{(A - B) * M * 35450}{V_{am}} \quad (1)$$

Onde:

A = volume gasto em mL de AgNO<sub>3</sub> na titulação da amostra;

B = volume gasto em mL de AgNO<sub>3</sub> na titulação do branco;

M = molaridade da solução de AgNO<sub>3</sub>;

V<sub>am</sub> = volume da amostra.

### 2.10.3 Potencial de corrosão

A técnica de medida do potencial de corrosão é utilizada como uma forma de monitorar o processo corrosivo em armaduras de aço incorporadas ao concreto (RIBEIRO *et al.*, 2018), baseando-se na diferença de potencial entre a armadura e um eletrodo de referência, usualmente de cobre - sulfato de cobre (MEIRA, 2017), estando relacionada principalmente à difusividade de íons através dos poros do concreto (RIBEIRO *et al.*, 2018).

É bastante utilizada em laboratório e em campo, devido à sua praticidade, por não exigir aparatos complexos para sua realização e por ser uma técnica de monitoramento não destrutiva (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Nesta técnica, o eletrodo é posicionado sobre superfície do concreto, conectado ao polo negativo de um voltímetro de alta impedância, que tem seu polo positivo ligado à armadura (MEIRA, 2017).

Para medir o potencial de corrosão, é necessário que seja criada uma pilha eletroquímica, que consiste em ânodo, eletrólito, cátodo e circuito metálico (RIBEIRO *et al.*, 2018), descritos pelo autor como:

- a) Ânodo: eletrodo que possui oxidação e corrente elétrica na forma de íons metálicos positivos. Neste caso, a posição da armadura que se deseja estudar e que supostamente apresenta corrosão;
- b) Cátodo - eletrodo no qual os elétrons provocam reações de redução. Neste caso, uma região de barra sã;
- c) Eletrólito: condutor, usualmente líquido, contendo íons que transportem a corrente elétrica do ânodo para o cátodo (referente à umidade presente nos poros do concreto);
- d) Circuito metálico: ligação metálica no sentido ânodo-cátodo por onde escoam os elétrons.

A imersão de um metal em soluções eletrolíticas determina uma diferença de potencial entre duas fases, denominada diferença de potencial eletroquímico (VICENTE, 2011).

No caso do concreto armado, as armaduras de aço reagem com a umidade dos poros do concreto, que comporta-se como eletrólito. Deste modo, é possível delimitar zonas com diferentes potenciais eletroquímicos e que por meio do monitoramento do potencial de corrosão sejam registradas possíveis alterações com processo da corrosão de estruturas (RIBEIRO *et al.*, 2018).

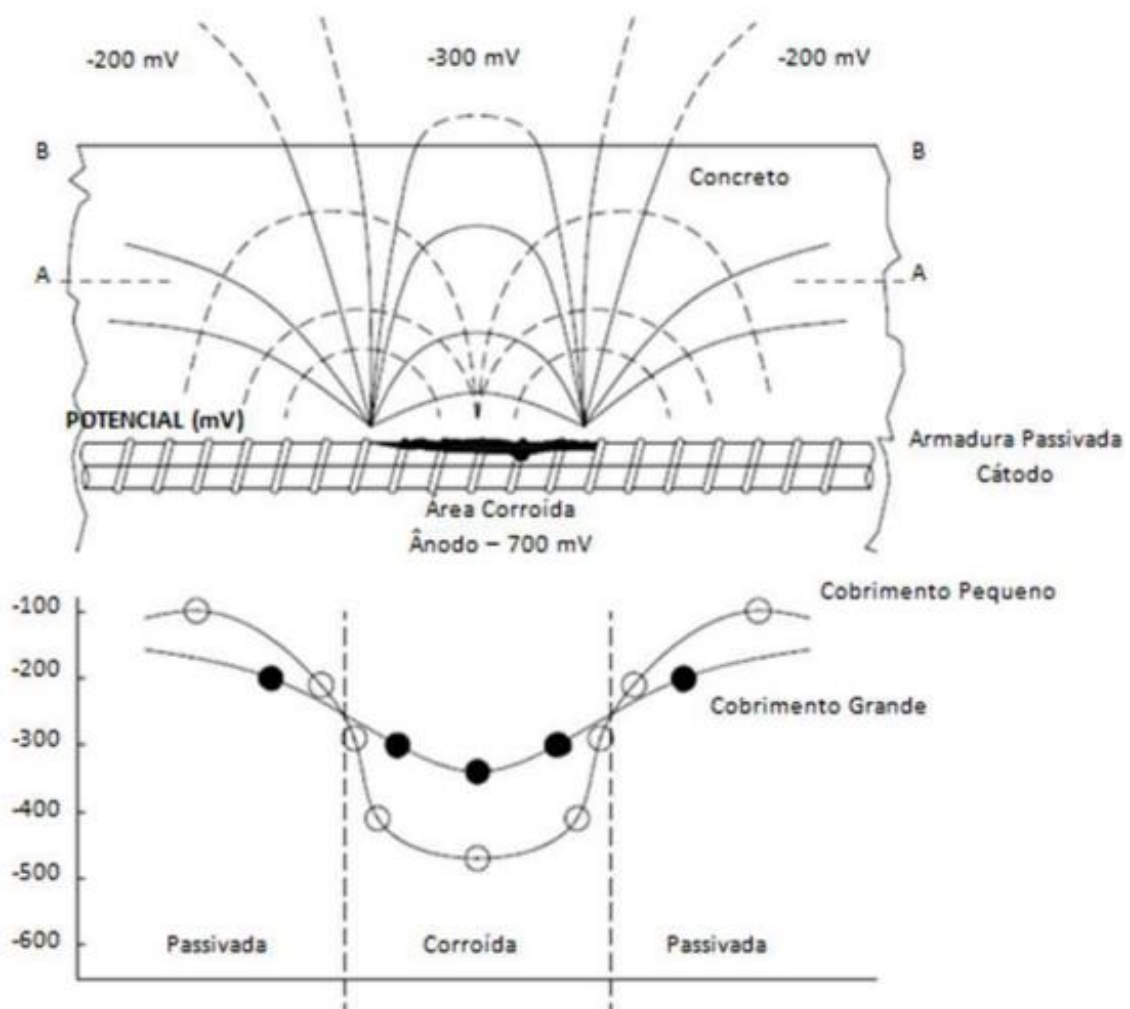
Entretanto, as leituras de potencial dependem de diversas variáveis, sendo necessário considerar aspectos individuais de cada estrutura durante a interpretação dos resultados (MEIRA, 2017).

Meira (2017) aponta como fatores de influência das medidas:

- a) Teor de umidade do concreto: as medidas de potencial podem variar consideravelmente, conforme a umidade do concreto. Deste modo, recomenda-se a umidificação prévia deste antes da realização do ensaio;
- b) Espessura do revestimento da armadura – os potenciais medidos na armadura e na superfície do concreto são diferentes, como pode ser visualizado na Figura 14;
- c) Correntes elétricas – a presença de interferências elétricas externas pode alterar significativamente as medidas de potencial;

- d) Carbonatação do concreto – o processo de carbonatação densifica a superfície do concreto, reduzindo a porosidade e a quantidade de eletrólito, podendo ocorrer uma redução nos valores das medidas de potencial;
- e) Quantidade de sais no eletrólito – a presença de sais nos poros do concreto pode facilitar o fluxo de corrente, possibilitando medidas de potenciais mais eletronegativos quando este possuir uma maior concentração iônica.

**Figura 14 – Influência do cobrimento em medidas de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado**



Fonte: Elsener e Bohni (1990 *apud* Rocha, 2012).

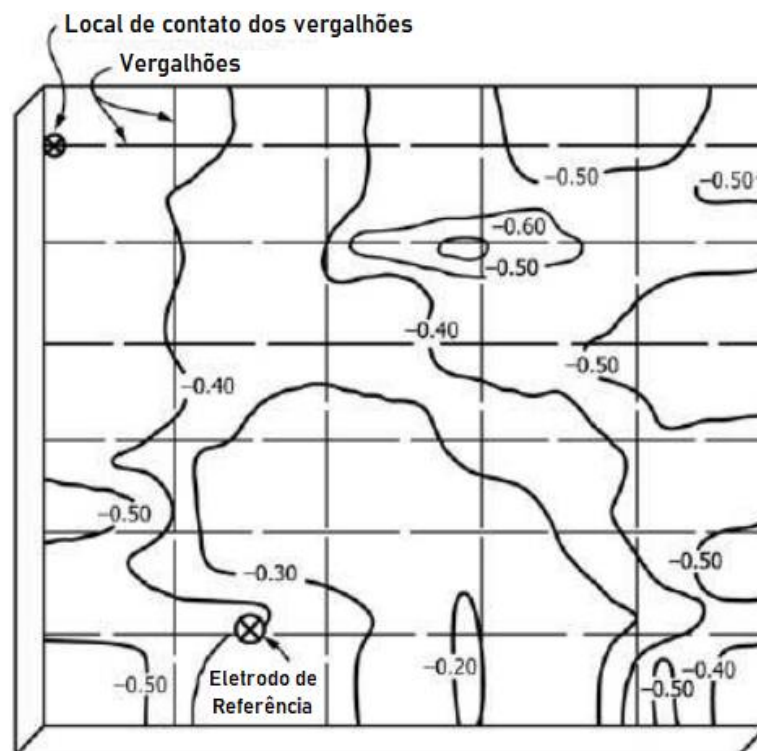
A norma ASTM C-876 (2015), de nome *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete* (Método de teste padrão para potenciais de corrosão de aço de reforço não revestido em concreto), estabelece intervalos de potenciais como critério de avaliação da probabilidade de corrosão, utilizando como referência o de cobre - sulfato de cobre (Cu/CuSO<sub>4</sub>), sendo eles:

- a) Se o potencial de uma área for mais positivo que -0,20 V, há uma probabilidade maior que 90% que não haja ocorrência de corrosão no concreto armado;
- b) Caso o potencial medido fique dentro do intervalo de -0,20 V e -0,35 V, a atividade de corrosão é incerta;
- c) Se o potencial sobre uma área for mais negativo que -0,35 V, existe uma probabilidade superior a 90% de ocorrência corrosão no concreto armado.

Contudo, os valores medidos indicam o balanço entre a reação anódica e a catódica, sem oferecer informações quantitativas relacionadas à velocidade de corrosão, impossibilitando avaliar a evolução do processo corrosivo e indicando apenas a probabilidade de ocorrência de corrosão (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Ainda, em casos em que houver extensas áreas a serem avaliadas, como lastros de pontes e elementos com grandes dimensões, usualmente é feito um mapeamento potencial (MEIRA, 2017). Neste, é gerado um mapa com superfícies equipotenciais com indicações dos respectivos valores de potenciais de corrosão, com intervalos máximos de 0,10 V, como apresentado no exemplo da Figura 15 (ASTM, 2015).

Figura 15 – Mapa de contornos equipotenciais



Fonte: Adaptado de ASTM C-876 (2015).

### 2.10.3.1 Ensaio de potencial de corrosão

O procedimento do ensaio de potencial de corrosão é preconizado pela norma C-876 (ASTM, 2015), de nome “*Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*” (Método de Teste Padrão para Potenciais de Corrosão de Aço de Reforço Não Revestido em Concreto), que descreve a estimativa do potencial de corrosão elétrica da armadura não revestida em concreto de campo e de laboratório, com o objetivo de determinar a atividade de corrosão da armadura (ASTM, 2015).

#### 2.10.3.1.1 Materiais e equipamentos

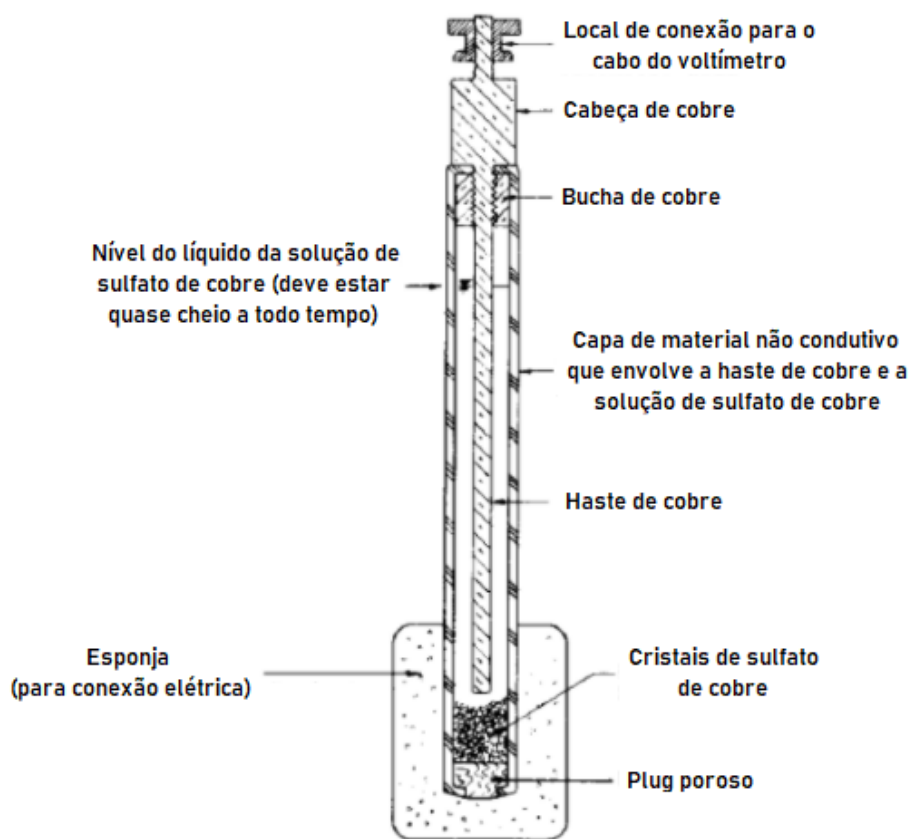
Os aparelhos necessários para a execução do ensaio consistem em (ASTM, 2015):

- a) Eletrodo de referência (meia-célula): deve ser utilizado o eletrodo de referência de cobre - sulfato de cobre ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ) ou outro que apresente acurácia e precisão semelhantes, permitindo apresentar um

potencial estável e reproduzível para as medições do potencial de corrosão do concreto armado, entre 0 e 49°C. É constituído de um tubo rígido composto por material dielétrico não reativo com o cobre, um tampão poroso de madeira ou cerâmica que se mantém saturado por ação capilar e uma haste de cobre, imersa dentro do tubo em uma solução de  $\text{CuSO}_4$  que deve ser preparada com cristais de grau reagente dissolvidos em água destilada ou deionizada. A Figura 16 apresenta um corte do eletrodo de referência.

- b) Alimentação elétrica do dispositivo: um dispositivo de junção elétrica deve ser usado para proporcionar uma ponte de líquido de baixa resistência elétrica entre a superfície do concreto e o eletrodo, composto por uma esponja pré-umedecida com uma solução de baixo contato a resistência elétrica.
- c) Solução de contato elétrico: uma solução de contato elétrico deve ser usada para umedecer o dispositivo de junção elétrica, composto por uma mistura de 95 ml de um detergente líquido misturado com 19 L de água potável. Em temperatura inferior a 10°C, deve ser adicionado cerca de 15% do volume de isopropílico ou álcool desnaturado para evitar a turvação da solução de contato elétrico.
- d) Voltímetro: o aparelho deve poder ser operado por bateria e ter precisão de fim de escala nas faixas de tensão em uso. A impedância de entrada deve ser inferior a 10 MV quando operado a uma escala completa de 100 mV. Divisões sobre escala utilizada devem ser tal que uma diferença de potencial de 0,02 V ou menos possa ser lido sem interpolação.
- e) Cabos elétricos: os cabos elétricos devem ter uma dimensão que sua resistência elétrica para o comprimento usado não atrapalhe o circuito em mais de 0,0001 V, devendo ser adequadamente revestido como um tipo de isolamento por aterramento direto.

Figura 16 – Eletrodo de referência de cobre - sulfato de cobre (Cu/CuSO<sub>4</sub>)



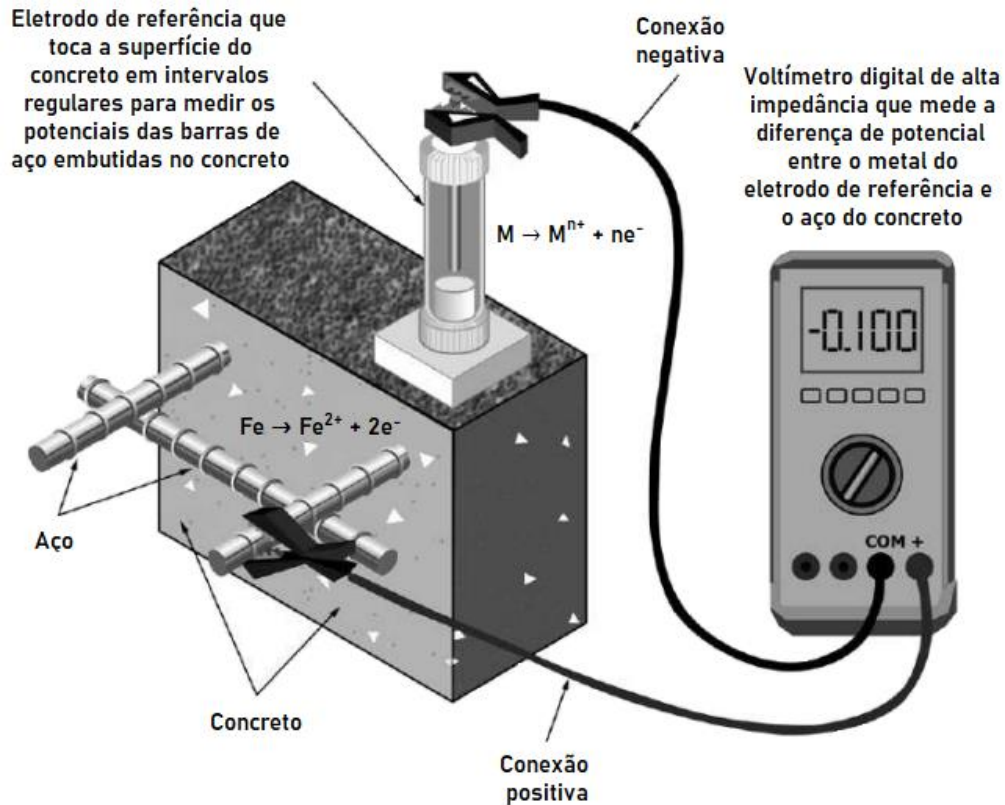
Fonte: Adaptado de ASTM C-876 (2015).

#### 2.10.3.1.2 Procedimento de ensaio

O procedimento de ensaio descrito na norma C-876 (ASTM, 2015) pode ser resumido, basicamente, aos seguintes passos: determinação de pontos a serem avaliados na estrutura, verificação de uma área do concreto com armadura exposta (expor parte desta, se necessário), limpeza desta barra, pré-umidificação da superfície de concreto, ligação do terminal positivo do voltímetro com o aço exposto, ligação do polo negativo com o eletrodo (meia-célula), ligação deste eletrodo com a superfície do concreto nos pontos determinados e registro das leituras realizadas.

A Figura 17 apresenta uma representação do ensaio para a realização das medições de potencial de corrosão.

Figura 17 – Esquema do ensaio para a realização das leituras de potencial de corrosão



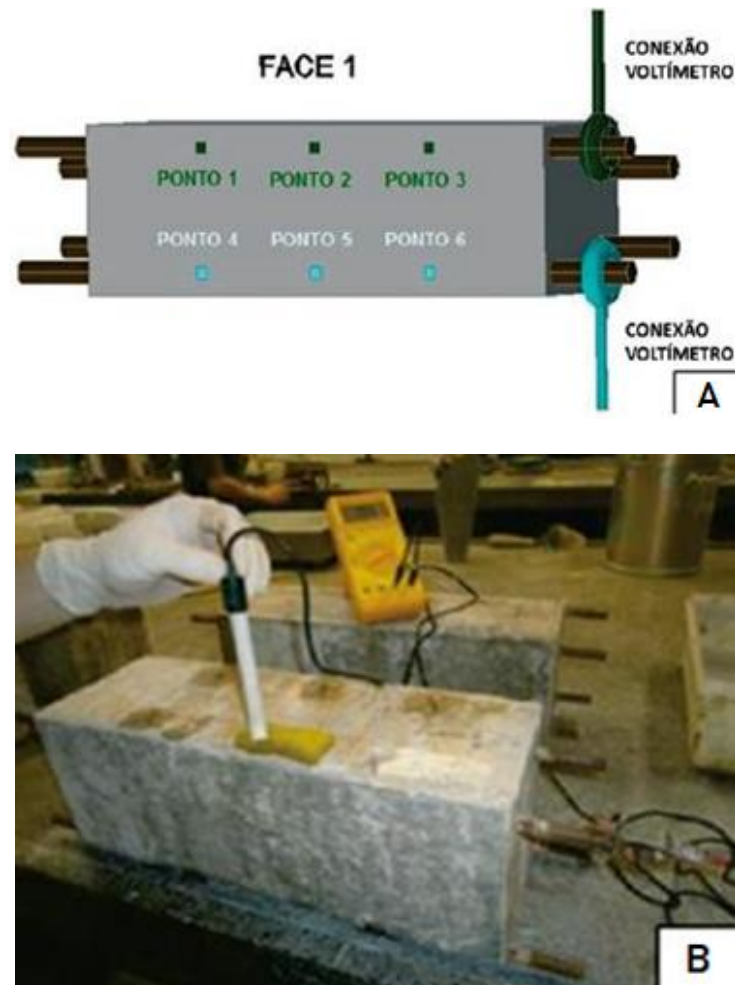
Fonte: Adaptado de ASTM C-876 (2015).

O método normativo é detalhado a seguir (ASTM, 2015):

Em relação ao espaçamento entre medições na superfície do concreto, não há um valor mínimo pré-definido, sendo orientado apenas que estes devem ser consistentes com a peça a ser investigada e a utilização final das medições.

As medições podem ser tomadas em grade ou em padrão aleatório e as leituras adjacentes que apresentarem valores superiores à 50 mV, correspondentes às áreas com alta atividade de corrosão, devem ter seu espaçamento reduzido. A Figura 18 apresenta um exemplo de ensaio onde foram realizadas as medidas em grade.

Figura 18 – Exemplo de leitura de potencial de corrosão em grade



Fonte: Adaptado de Medeiros, M. H. F. *et al.* (2017).

Deve-se realizar uma conexão elétrica direta com o aço por meio de uma braçadeira de terra para conexões temporárias ou por soldagem de uma haste saliente pra conexões permanentes. Para garantir uma conexão com baixa resistência elétrica, deve-se raspar a barra ou escovar o cabo antes de ligar à armadura. Ainda, em alguns casos, pode ser necessária a remoção de parte do concreto para expor a barra de aço.

Utilizando um voltímetro de alta impedância, deve-se ligar eletricamente o cabo ao terminal positivo do voltímetro e ao aço e o cabo com o terminal negativo (terra) do voltímetro ao eletrodo de referência.

A superfície do concreto deverá estar pré-umedecida e para isso, deve antes ser realizado um teste, colocando o eletrodo na superfície do concreto sem

movê-lo e observando a medição do voltímetro. Caso o valor do potencial não alterar ou oscilar com o tempo, não será necessário umidificar a superfície. Caso o valor se altere, será necessário pré-umedecer a estrutura até que a leitura estabilize em  $\pm 0,02$  V por ao menos 5 minutos. Poderão ser umedecidos toda a superfície ou apenas os pontos de medição utilizando a solução descrita no tópico anterior com o auxílio de um borrifador ou uma esponja.

Para as medições verticais e horizontais, o eletrodo deverá ser posicionado de modo que a solução de cobre - sulfato de cobre na meia-célula faça contato elétrico simultaneamente com o tampão poroso e com a haste de cobre em todos os momentos.

O plug poroso do eletrodo deve ser coberto quando não estiver em uso por longos períodos, uma vez que após a secagem pode ocorrer a obstrução dos poros com sulfato de cobre cristalizado.

Deve-se gravar os potenciais elétricos de célula próximos a 0,01 V e anotar no relatório todos os valores de potencial em volts e corrigir para temperatura, caso a temperatura do eletrodo esteja fora da faixa de  $22,2 \pm 5,5$  °C.

#### 2.10.3.1.3 Apresentação dos resultados e avaliação do potencial de corrosão

Como critério de avaliação da corrosão, a norma C-876 (ASTM, 2015) apresenta uma correlação entre intervalos de potenciais e sua respectiva probabilidade de ocorrência de corrosão, tomando como eletrodo de referência o de Cu/CuSO<sub>4</sub>, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Probabilidade de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial**

Tipo de eletrodo	Probabilidade de corrosão		
	< 10%	10 a 90%	> 90%
Cu/CuSO <sub>4</sub>	> - 0,20 V	- 0,20 V a - 0,35 V	< - 0,35 V

Fonte: Adaptado de ASTM C-876 (2015).

Para a apresentação dos resultados, a norma descreve que o resultado das medições pode ser apresentado de duas formas. A primeira é referente ao mapa de

contornos equipotenciais, que provê uma delineação gráfica das áreas do membro onde a corrosão pode estar ocorrendo e a segunda é um diagrama de frequência cumulativa, que provê uma indicação da magnitude da área afetada do concreto.

Para o mapa de potencial, deve-se plotar os locais com seus respectivos valores de potencial de corrosão do aço no concreto e desenhar os contornos de potencial iguais ou interpolados. Os valores máximos entre contornos devem ser de 0,10 V.

Em relação à distribuição de frequência cumulativa, para determinar a distribuição das medições de potenciais de corrosão deve-se aplicar informações presentes no guia para aplicação de estatísticas nos dados de análise de corrosão.

A técnica da diferença de potencial pode apresentar uma ideia da magnitude da corrosão e a presença de corrosão localizada, que geralmente manifesta considerável alteração de potencial em pequenas distâncias.

No relatório, deve ser apresentado o tipo de meia célula utilizado, detalhes de calibração, solução utilizada, temperatura média estimada do eletrodo durante o teste, o método de pré-umedecimento do concreto utilizado e o método de ligação entre o voltímetro e o aço, o mapa de contorno equipotencial, mostrando os locais de contato, a porcentagem total de corrosão de potenciais mais negativos que -0,35 V e a porcentagem total de potencial de corrosão mais negativo que -0,20 V.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho caracteriza-se como um estudo de caso com caráter exploratório e abordagem quali-quantitativa relativa à condição de corrosão de partes da estrutura de uma edificação do Grupamento de Busca e Salvamento (GBS) do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC).

Neste capítulo, serão apresentadas, primeiramente, informações sobre a edificação objeto de estudo, como histórico, localização, implantação, utilização e as condições climáticas da região.

Posteriormente, serão dispostas informações obtidas nas vistorias, bem como algumas das manifestações patológicas da edificação, locais avaliados e dados coletados, como bitolas e posição das armaduras nos elementos estruturais.

Após, apresentam-se os procedimentos realizados para a avaliação das condições de corrosão da estrutura, realizados por meio de medidas de potencial de corrosão e determinações de profundidade de carbonatação e teor de cloretos.

#### 3.1 Informações sobre o Grupamento de Busca e Salvamento

Os registros referentes às primeiras atividades de Salvamento Aquático no estado de Santa Catarina datam do ano de 1962, 36 anos após a fundação do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de Santa Catarina, na praia de Balneário Camboriú (MOCELLIN, 2009), sob o nome de Serviço de Salvamento Marítimo até o ano de 1971 (MOCELLIN, 2001 *apud* BARROS, 2011).

Em 1971, por meio da Lei nº 4.679, criou-se na estrutura do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina a Companhia de Busca e Salvamento (CBS), atuando exclusivamente em Balneário Camboriú (GODINHO, 2006) e posteriormente, por necessidade de ampliação das atividades de salvamento, para outros balneários do litoral catarinense (KUGIK, 1997 *apud* BARROS, 2011).

Após este período, no ano de 1979, houve mudanças estruturais e o CBS foi elevado para a categoria Sub-Grupamento de Busca e Salvamento (SGBS) através

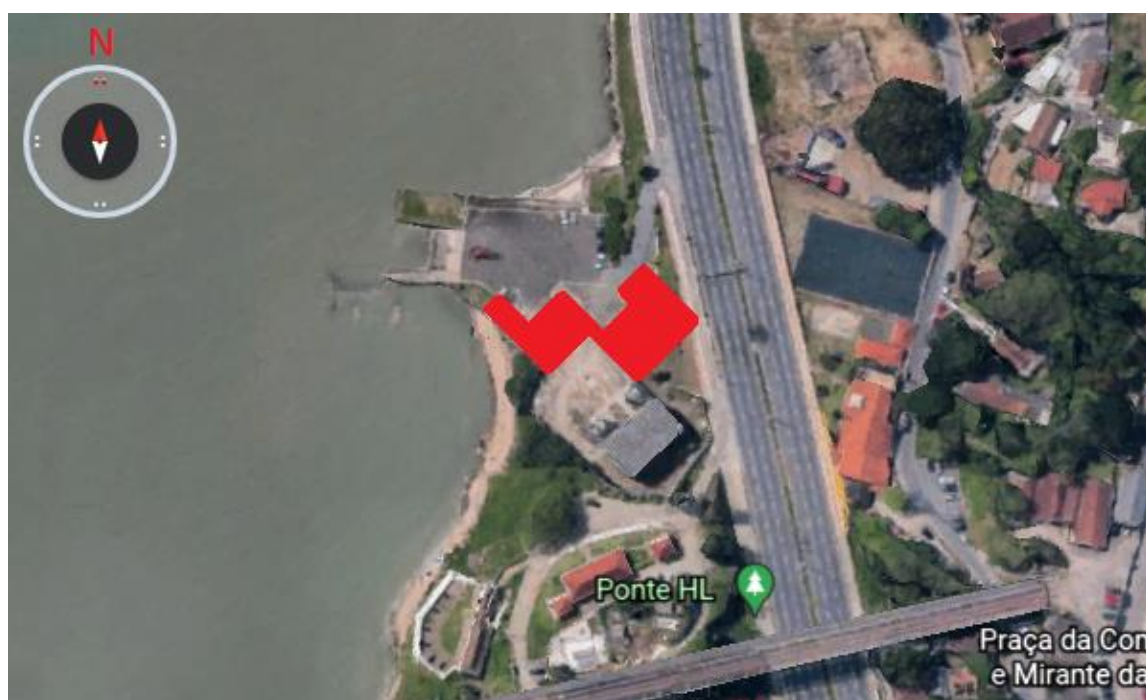
da Lei nº 5.522 e em 1983 para Grupamento de Busca e Salvamento (GBS) (BARROS, 2011).

Posteriormente, foi criada no lugar do GBS a Companhia do 1º Batalhão de Bombeiro Militar com área de atuação restrita à Ilha de Florianópolis (MOCELLIN, 2009). Entre 1995 e 1997 tornou-se o 3º Batalhão do Bombeiro Militar e após, passou a denominar-se 2ª Companhia do 1º Batalhão - Grupo de Busca e Salvamento (GODINHO, 2006).

Em 2003, o CBMSC foi emancipado da Polícia Militar de Santa Catarina (PMSC) e foram divididos entre batalhões abrangendo diferentes regiões do estado (BARROS, 2011).

A edificação do GBS, objeto de estudo, está localizada na Avenida Osvaldo Rodrigues Cabral, 525, no Centro de Florianópolis, Santa Catarina, e possui suas fachadas norte e oeste de frente para o mar, conforme pode ser observado nas Figuras 19 e 20.

**Figura 19 – Localização da edificação**



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021).

**Figura 20 – Imagem 3D da edificação**



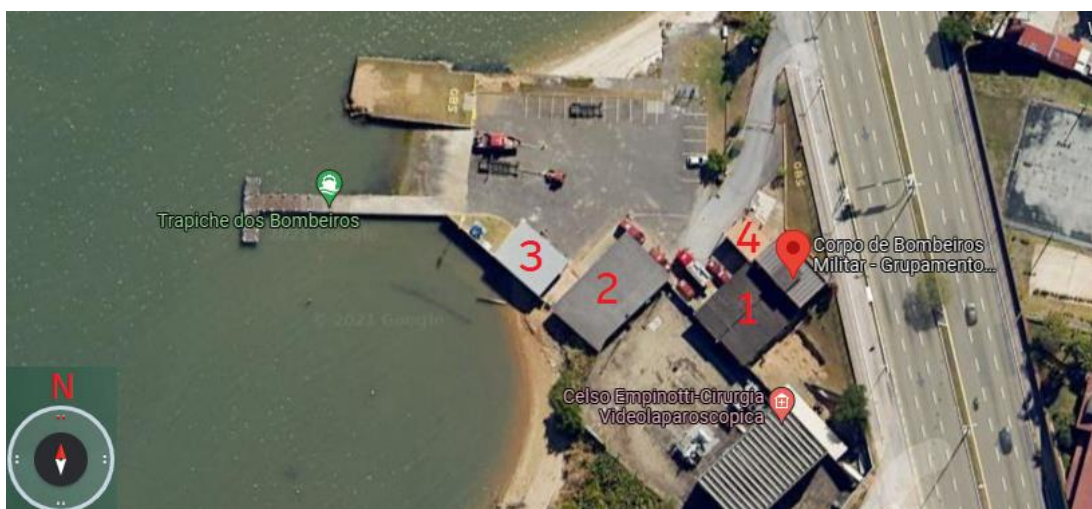
Fonte: Adaptado de Google Earth (2021).

Na edificação, as atividades exercidas pelos colaboradores referem-se a atividades de resgate, buscas e salvamento aquático, sendo de vital importância na proteção de vidas humanas na cidade (MOCELLIN, 2009).

A base de operação do GBS é dividida em quatro blocos, dos quais três deles possuem estrutura de alvenaria e concreto armado e o outro de estrutura metálica (contêineres).

A Figura 21 apresenta uma imagem aérea da edificação, com a numeração dos blocos e suas respectivas identificações encontram-se dispostas no Quadro 2.

**Figura 21 – Imagem aérea da edificação**



Fonte: Adaptado de Google Maps (2022).

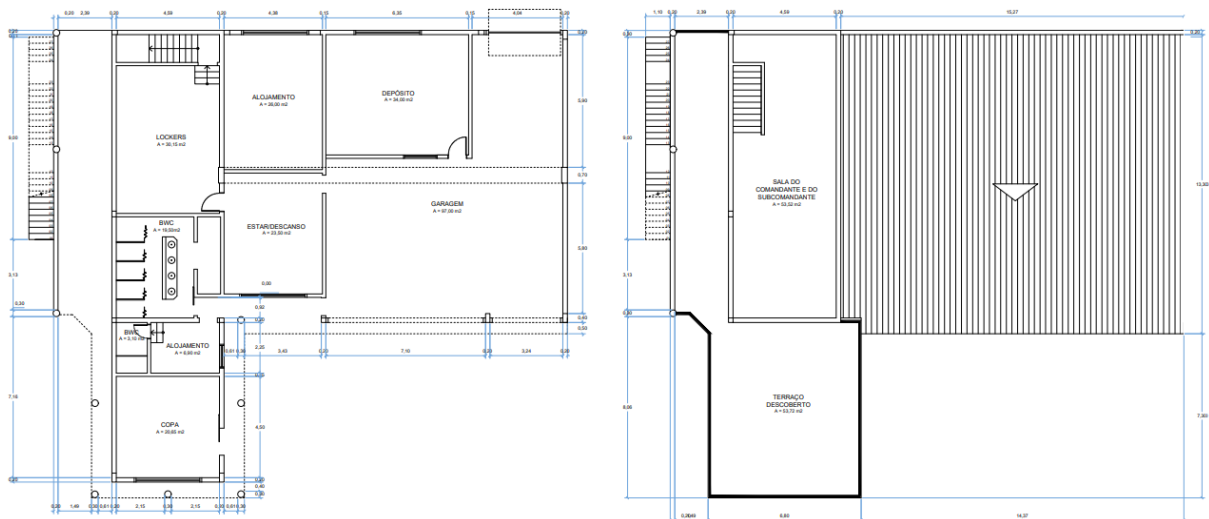
**Quadro 2 – Identificação dos blocos da imagem aérea**

Numeração	Identificação	Tipo de Estrutura
1	Edificação principal	Concreto armado
2	Estacionamento, oficina mecânica reserva de mergulho e sala de aula	Concreto armado
3	Estacionamento e depósito	Estrutura metálica
4	Guarita	Concreto armado

Fonte: Autor (2022).

A edificação principal, objeto de análise, identificada na Figura 21 com a numeração “1”, possui dois pavimentos. No pavimento térreo, esta apresenta copa, banheiros, alojamento, *lockers* (armários), locais de estar/descanso e garagem, enquanto o pavimento superior apresenta a sala do comandante e subcomandante e um terraço descoberto (Figura 22).

**Figura 22 – Planta baixa dos pavimentos térreo e superior da edificação principal do GBS**



Fonte: Adaptado de Sarau Arquitetura (2022).

Na Figura 23 apresenta-se uma imagem da fachada noroeste deste bloco principal.

Figura 23 – Fachada da edificação principal do GBS



Fonte: Autor (2022).

### 3.1.1 Informações climáticas

Conforme mencionado no item 2.2.2, a direção predominante do vento e a insolação possuem considerável influência no fenômeno de corrosão pela ação de íons cloreto (ANDRADE PERDRIX, 1992). Por este motivo, faz-se necessária a obtenção destas informações para a região na qual está inserida a edificação a ser estudada.

Segundo a Normal Climatológica do Brasil, de 1981-2010 (INMET, 2022), para Florianópolis há predominância de ventos com direção norte e com intensidade média de vento anual de 3,50 m/s, ou seja 12,60 km/h, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Intensidade e Direção Predominante do Vento de Florianópolis (1981 - 2010)

Mês	Intensidade do Vento (m/s)	Intensidade do Vento (km/h)	Direção Predominante do Vento (pontos cardeais e colaterais)
Janeiro	3,60	12,96	NE
Fevereiro	3,50	12,60	SE
Março	3,40	12,24	SE
Abril	3,10	11,16	SE
Maio	2,90	10,44	Calma
Junho	2,90	10,44	N
Julho	3,00	10,80	Calma
Agosto	3,30	11,88	N
Setembro	3,80	13,68	N
Outubro	4,00	14,40	SE
Novembro	4,00	14,40	NE
Dezembro	3,90	14,04	NE
Ano	3,50	12,60	-

Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022).

Ainda, segundo dados da Epagri/Ciram, entre os anos de 1996 e 2012, Florianópolis apresenta uma pequena variação de vento predominante ao longo dos meses, mas tem-se o vento norte como mais recorrente, ocorrendo em dez dos doze meses do ano (SILVEIRA; ALVES; MURARA, 2014).

Contudo, os ventos são influenciados por efeitos locais, como condições de relevo, topografia, vegetação e edificações, que tornam a direção e a velocidade do vento variáveis (VENDRAMINI, 1986 *apud* SILVEIRA; ALVES; MURARA, 2014).

Além disso, zonas costeiras apresentam-se como regiões de relativa instabilidade, por sofrerem alterações decorrentes de regime de marés, correntes marítimas, ventos, entre outros (SANTOS, D. R. *et al.*, 2016).

Em relação à insolação, a Normal Climatológica do Brasil, de 1981-2010 (INMET, 2022) traz as informações da Tabela 4, relativas à insolação total mensal e anual para Florianópolis:

Tabela 4 – Insolação Total de Florianópolis (1981 - 2010)

<b>Mês</b>	<b>Insolação Total (horas)</b>	<b>Insolação Total (dias)</b>
<b>Janeiro</b>	<b>176,80</b>	<b>7,37</b>
<b>Fevereiro</b>	<b>164,80</b>	<b>6,87</b>
<b>Março</b>	<b>184,20</b>	<b>7,68</b>
<b>Abril</b>	<b>172,00</b>	<b>7,17</b>
<b>Mai</b>	<b>175,10</b>	<b>7,30</b>
<b>Junho</b>	<b>151,50</b>	<b>6,31</b>
<b>Julho</b>	<b>152,10</b>	<b>6,34</b>
<b>Agosto</b>	<b>156,60</b>	<b>6,53</b>
<b>Setembro</b>	<b>130,40</b>	<b>5,43</b>
<b>Outubro</b>	<b>144,40</b>	<b>6,02</b>
<b>Novembro</b>	<b>184,00</b>	<b>7,67</b>
<b>Dezembro</b>	<b>189,90</b>	<b>7,91</b>
<b>Ano</b>	<b>1981,80</b>	<b>82,58</b>

Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022).

Deste modo, tem-se que a fachada norte/noroeste, ou seja, a fachada principal da edificação, está sendo mais afetada pelos ventos e por estar localizada em uma região litorânea, estes são fortemente influenciados pelos efeitos locais, como as correntes marítimas e a névoa salina.

Ainda, a edificação está localizada em um ambiente com classe de agressividade ambiental III, em que há forte agressividade e grande risco de deterioração da estrutura.

### **3.2 Avaliação das condições de corrosão**

Para a realização deste estudo, primeiramente fez-se necessária uma visita ao local objeto de estudo para a avaliação das condições de corrosão na edificação do GBS.

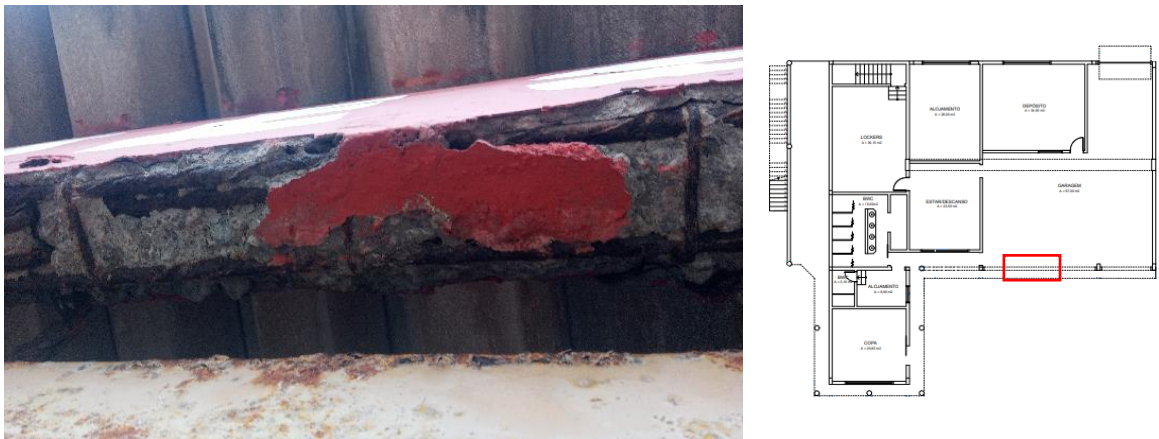
A partir desta vistoria, foram verificadas as condições da estrutura e as manifestações patológicas possivelmente relacionadas à corrosão que possuía, de modo a auxiliar na definição dos elementos estruturais que seriam avaliados. Algumas das manifestações patológicas verificadas são apresentadas nas Figuras 24 a 41.

**Figura 24 – Viga da fachada noroeste (frontal) da edificação**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 25 – Parte inferior da viga da fachada noroeste da edificação**



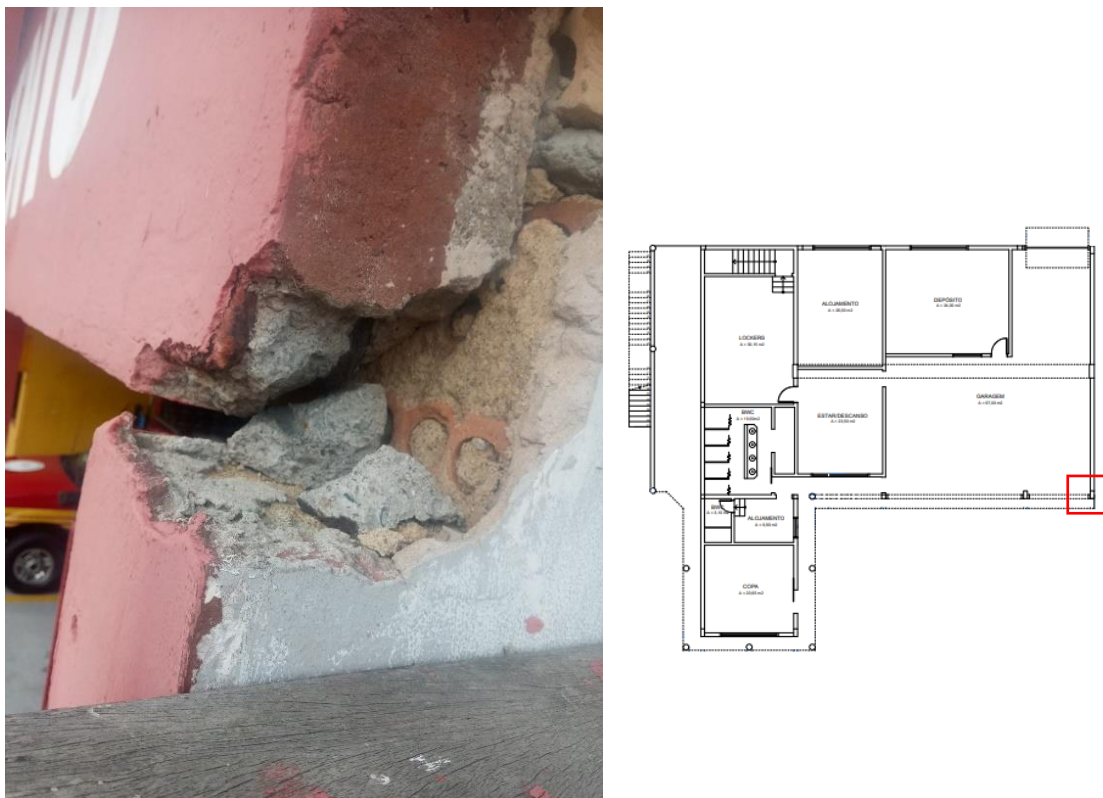
Fonte: Autor (2022).

**Figura 26 – Parte traseira da viga da fachada noroeste da edificação**



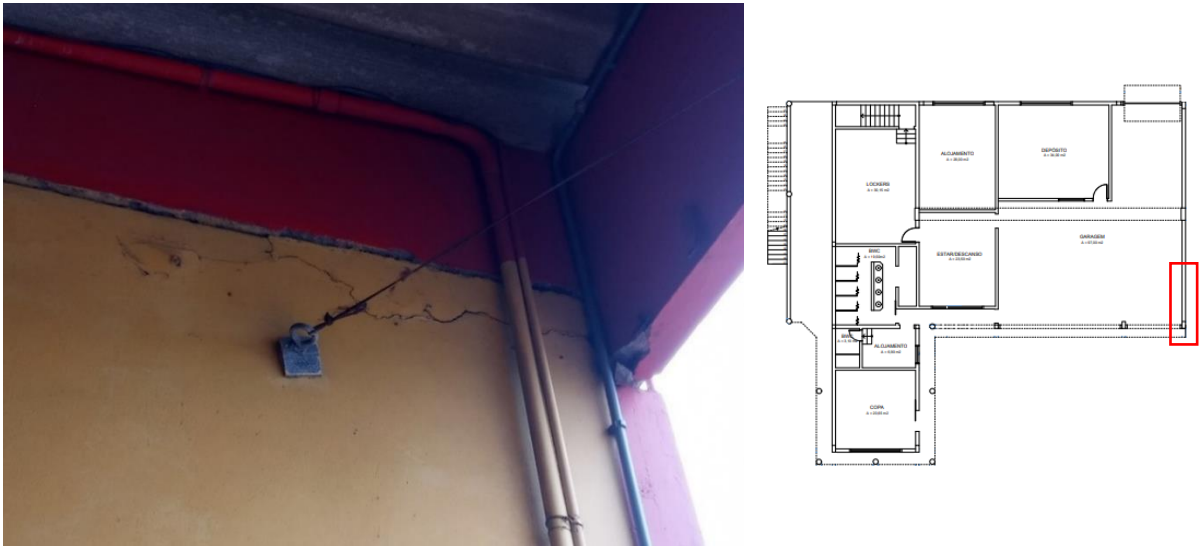
Fonte: Autor (2022).

**Figura 27 – Extremidade direita da viga da fachada noroeste da edificação**



Fonte: Autor (2022).

Figura 28 – Parede oeste da edificação



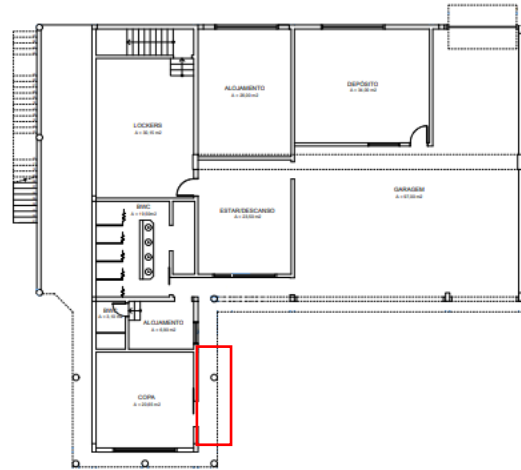
Fonte: Autor (2022).

Figura 29 – Parte traseira do pilar central da fachada noroeste da edificação



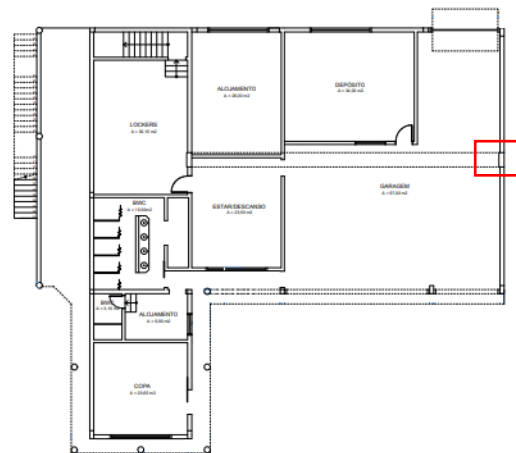
Fonte: Autor (2022).

**Figura 30 – Laje da lateral noroeste da edificação**



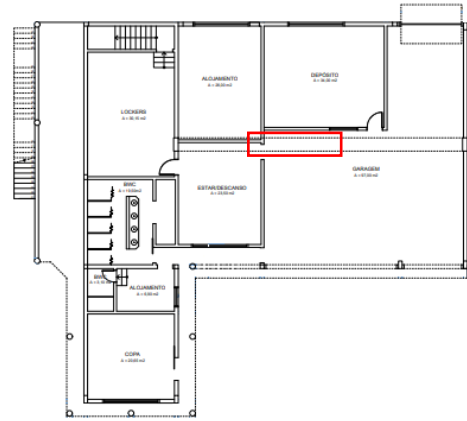
Fonte: Autor (2022).

**Figura 31 – Pilar e paredes da lateral oeste da edificação**



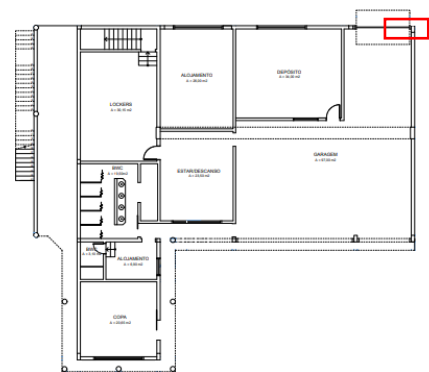
Fonte: Autor (2022).

**Figura 32 – Parte inferior da viga central da garagem**



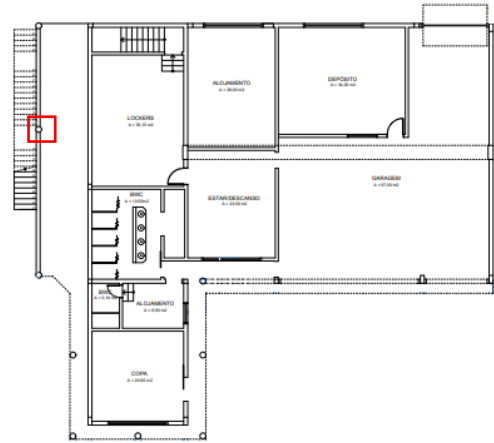
Fonte: Autor (2022).

**Figura 33 – Extremidade esquerda da viga da fachada sudeste (traseira) da edificação**



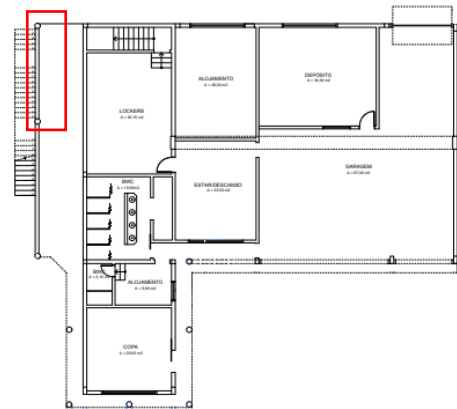
Fonte: Autor (2022).

Figura 34 – Pilar da lateral oeste da edificação



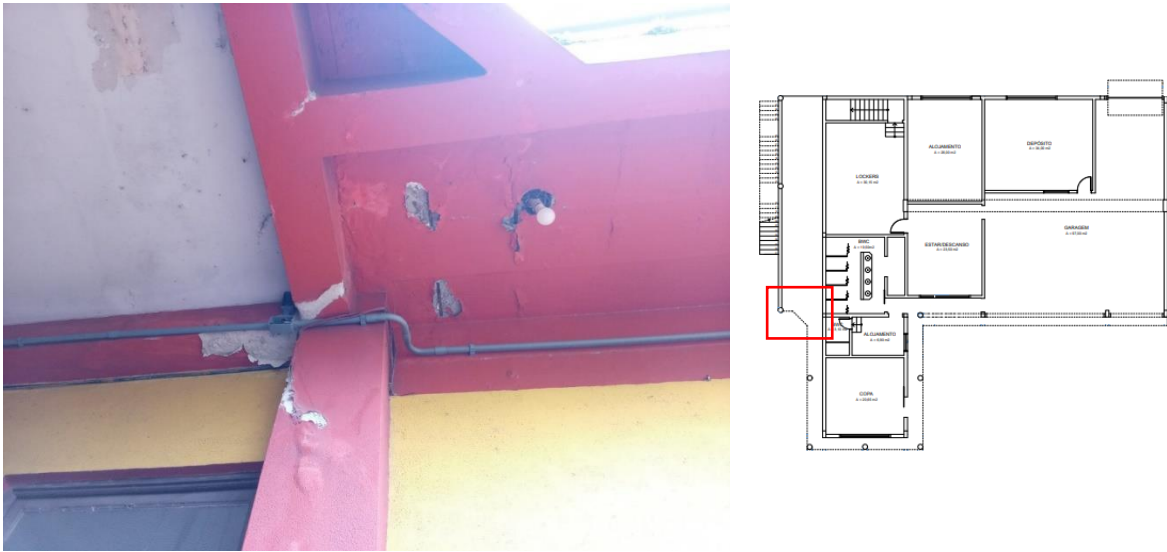
Fonte: Autor (2022).

Figura 35 – Parede oeste da edificação



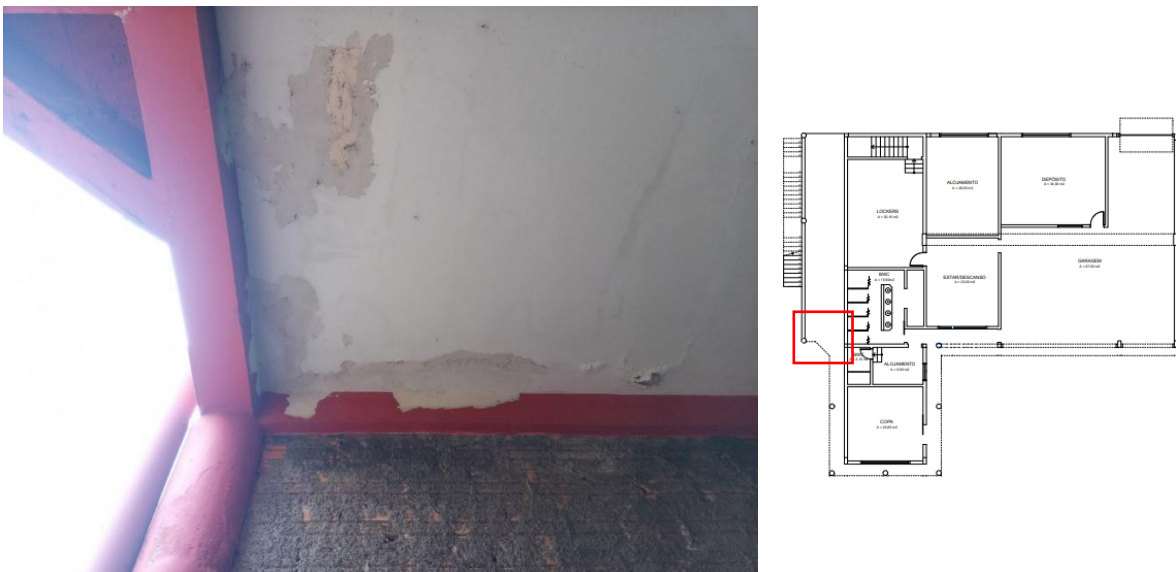
Fonte: Autor (2022).

**Figura 36 – Lajes e pilar da lateral oeste da edificação**



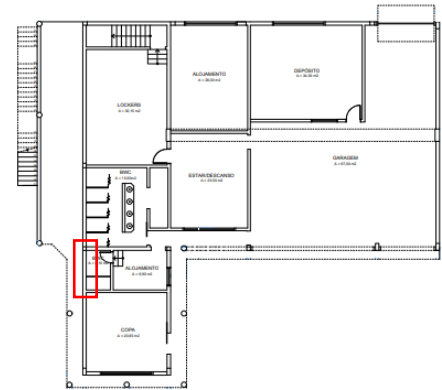
Fonte: Autor (2022).

**Figura 37 – Laje da lateral oeste da edificação**



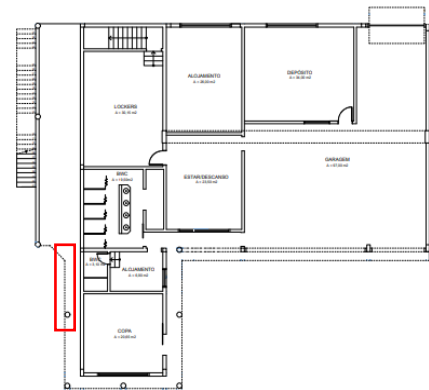
Fonte: Autor (2022).

**Figura 38 – Parede da lateral oeste da edificação**



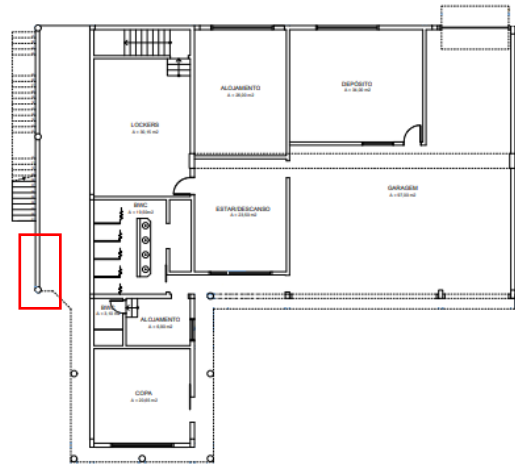
Fonte: Autor (2022).

**Figura 39 – Laje da lateral oeste da edificação**



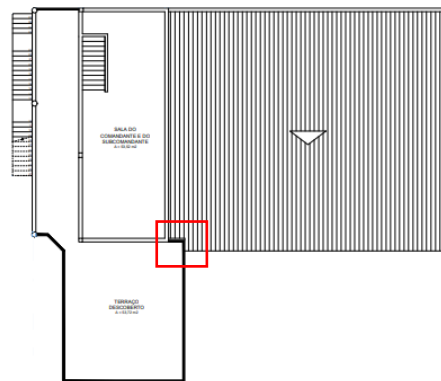
Fonte: Autor (2022).

**Figura 40 – Parte da lateral oeste da edificação**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 41 – Canto esquerdo da sacada do pavimento superior**



Fonte: Autor (2022).

Deste modo, conforme apresentado nas Figuras 24 a 41, foi verificado que a edificação apresenta diversas manifestações patológicas, relacionadas a infiltrações, deslocamentos, descascamentos, fissuras, trincas, manchas, corrosão,

entre outros, possivelmente ocasionados pelo desgaste e exposição dos elementos, bem como falhas de execução e manutenção.

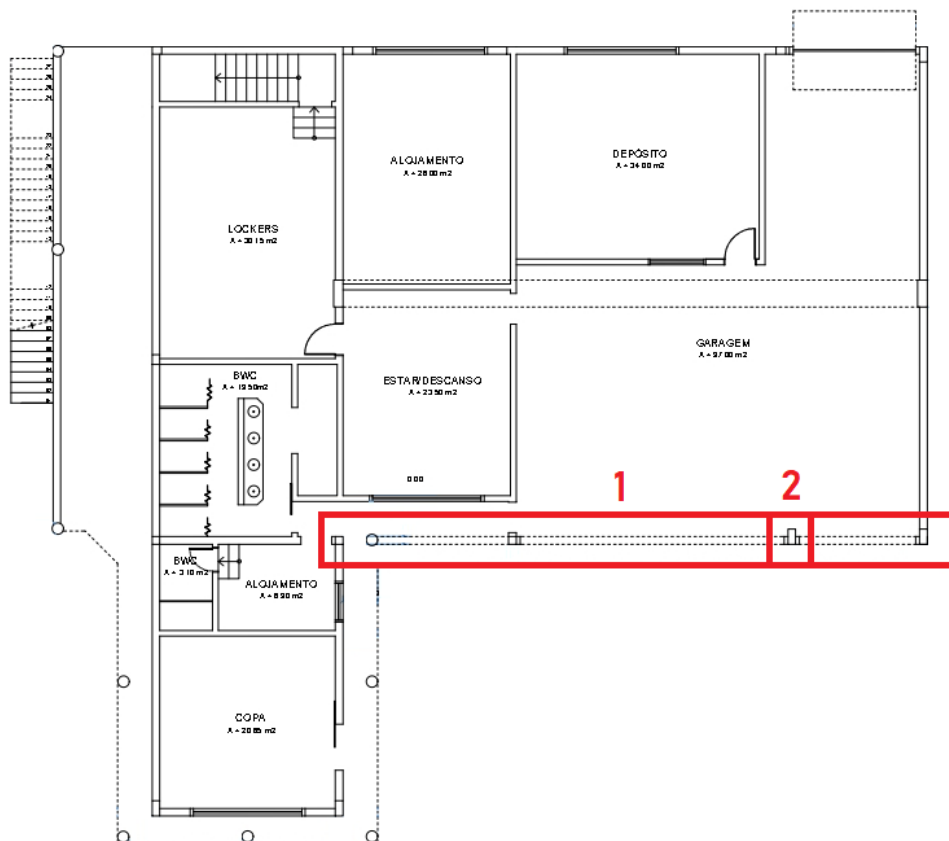
Assim, a partir desta verificação, com base nas características do processo corrosivo, foram escolhidos 2 (dois) elementos estruturais para análise do estado de corrosão, apresentados no capítulo 3.3 a seguir.

### 3.3 Elementos estruturais avaliados

Os elementos estruturais avaliados foram determinados conforme o posicionamento de suas fachadas, priorizando locais de frente para o mar e áreas da estrutura em que foram verificados, na vistoria, exposição da armadura, fissuras paralelas ou danos ao concreto.

As posições destes elementos na edificação estão destacadas e identificadas por numeração na Figura 42 e elencadas no Quadro 3.

**Figura 42 – Identificação dos elementos estruturais a serem avaliados (térreo)**



Fonte: Autor (2022).

**Quadro 3 – Identificação dos elementos estruturais da Figura 23**

Numeração	Elemento	Dimensões (AxLxP, em cm)	Localização
1	Viga	92,0 x 1622,0 x 12,5	Fachada noroeste
2	Pilar	400,0 x 22,5 x 26,0	Fachada noroeste

Fonte: Autor (2022).

As Figuras 43 e 44 apresentam os elementos analisados.

**Figura 43 – Elemento estrutural 1: Viga da fachada noroeste (frontal) da edificação**

Fonte: Autor (2022).

**Figura 44 – Elemento estrutural 2: Pilar da fachada noroeste (frontal) da edificação**

Fonte: Autor (2022).

### 3.3.1 Métodos de ensaio e avaliação

Objetivando auxiliar a avaliação dos elementos estruturais a serem analisados, foram elaborados croquis destes elementos estruturais, identificando as posições das fissuras de corrosão e/ou das armaduras expostas.

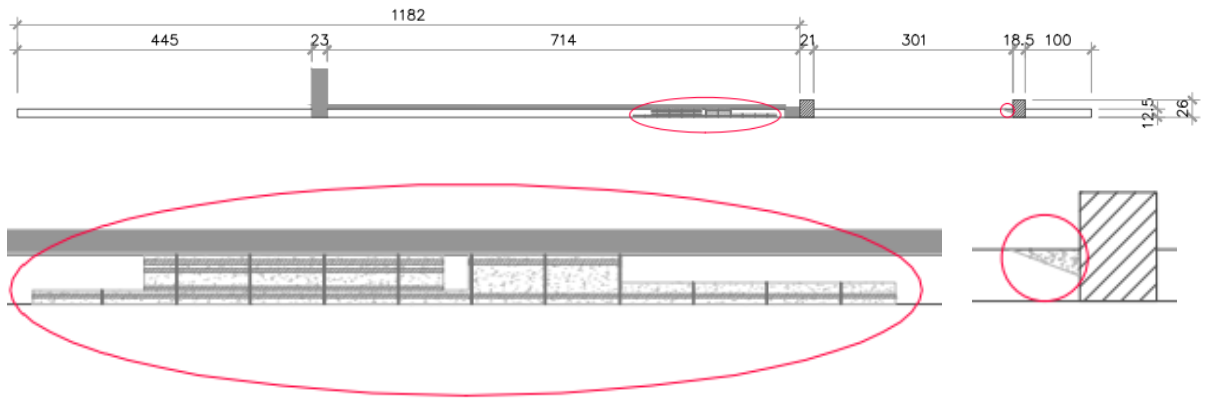
Os croquis desenvolvidos com indicações das posições das fissurações e armaduras expostas na viga encontram-se representados nas Figuras 45 e 46, bem como nos Apêndices do trabalho.

**Figura 45 – Croqui dos elementos estruturais analisados da fachada noroeste com indicação de fissurações e exposição de armaduras (vista frontal)**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 46 – Croqui dos elementos estruturais analisados da fachada noroeste com indicação de fissurações e exposição de armaduras (vista inferior)**



Fonte: Autor (2022).

Nas armaduras expostas, foi realizada uma limpeza superficial da barra (Figura 47) para avaliação de eventual perda de seção transversal de aço resistente.

**Figura 47 – Região da barra exposta após feita a lixagem pontual**



Fonte: Autor (2022).

Após a limpeza, a medida do diâmetro da barra foi determinada com auxílio de um paquímetro (Figura 48).

**Figura 48 – Medição do diâmetro de uma das barras expostas da viga da fachada frontal**



Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, utilizou-se um paquímetro para realizar a identificação da posição, profundidade e bitolas das armaduras (Figura 49), que foram posteriormente marcadas nas faces dos elementos estruturais a serem analisados, possibilitando o posicionamento dos pontos para o mapeamento dos potenciais de corrosão (Figuras 50 e 51, bem como dos pontos de perfuração para determinação de profundidade de carbonatação e de coleta de amostras para determinação de teor de cloretos no concreto (Figura 52).

**Figura 49 – Utilização do pacômetro para marcação do posicionamento das armaduras dos elementos estruturais analisados**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 50 – Marcação da posição, profundidade e bitolas dos vergalhões e estribos do pilar**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 51 – Marcação da posição, profundidade e bitolas dos vergalhões e estribos da viga**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 52 – Marcação dos locais para coleta de amostras no pilar**



Fonte: Autor (2022).

### 3.3.1.1 Profundidade de carbonatação

As medidas de profundidade de carbonatação do concreto foram realizadas conforme o procedimento preconizado na norma EN 14630 (2007), descrito no item 2.10.1, tendo sido o ensaio executado apenas no pilar avaliado.

Para esta determinação, foram inicialmente estabelecidas regiões pontuais para as perfurações, em diferentes alturas e faces do elemento estrutural, utilizando as informações obtidas no ensaio de pacometria para evitar o contato com a armadura do pilar. Estes pontos foram identificados como P1, P2 e P4, conforme apresentado na Figura 53.

**Figura 53 – Pontos escolhidos para coleta das amostras no pilar**



Fonte: Autor (2022).

Com o auxílio de uma furadeira e de uma broca, foram feitas as perfurações nos pontos indicados, individualmente. A profundidade de perfuração executada foi o suficiente para representar o cobrimento do concreto, de modo a possibilitar a avaliação da condição de alcalinidade na posição das armaduras principais.

Após, as superfícies das perfurações foram limpas com auxílio de um pincel para ter sua poeira e partículas soltas removidas, sem o uso de água ou material abrasivo. A Figura 54 apresenta a perfuração executada no ponto 4 para a coleta da amostra na parte baixa da lateral do pilar.

**Figura 54 – Perfuração executada no ponto 4 do pilar**



Fonte: Autor (2022).

Tão logo as perfurações houvessem sido finalizadas, fez-se a aferição de suas profundidades e diâmetros, em mm, utilizando um paquímetro (Figuras 55 e 56).

**Figura 55 – Medição do diâmetro de uma das perfurações, em mm, com um paquímetro**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 56 – Medição da profundidade da perfuração do ponto P1, em mm, com um paquímetro**



Fonte: Autor (2022).

Após, a solução de fenolftaleína 1%, previamente preparada no Laboratório de Análises Físico-Químicas, foi aspergida com um pulverizador sobre a superfície do concreto em quantidade suficiente apenas para umedecer o local de análise.

A alteração de coloração foi registrada em até 2 minutos após a aspersão e em seguida os locais foram fotografados e fez-se análise para aferir as profundidades de carbonatação, em mm, com um paquímetro da distância da parte exterior até a extremidade da região colorida.

Após a realização do ensaio, as superfícies dos locais de intervenção que foram expostas foram adequadamente reparadas com argamassa, de modo a não ocasionar posteriores danos à estrutura.

### *3.3.1.2 Teor de cloretos*

Posteriormente, foi realizado o ensaio da determinação do teor de cloretos no concreto, conforme o método de Mohr e o procedimento da NBR 13797 (1997), descritos no tópico 2.9.2 Determinação do teor de cloretos.

As amostras utilizadas no ensaio foram obtidas em pó e a seco, com auxílio de uma furadeira e de uma broca para perfuração de concreto.

Visando danificar o mínimo possível a estrutura do pilar, optou-se por utilizar os mesmos pontos a serem analisados na determinação da profundidade de carbonatação.

Os pontos escolhidos para a coleta, bem como a profundidade de perfuração foram determinados com base no cobrimento e na posição das armaduras e foram obtidos de 3 (três) pontos distintos do pilar e de 1 (um) ponto da viga. No pilar, estes foram identificados como P1, P2 e P4, conforme previamente apresentados na Figura 53.

Para a viga, devido ao concreto já encontrar-se danificado em algumas regiões, foi retirado com auxílio de um formão e um martelo uma pequena parte de seu cobrimento, apenas o suficiente para realizar o ensaio, tendo esta amostra sido posteriormente transformada em pó em laboratório. O ponto de coleta escolhido é apresentado na Figura 57, identificado como P3.

**Figura 57 – Ponto escolhido para coleta da amostra na viga**



Fonte: Autor (2022).

As perfurações foram realizadas em profundidades suficientes para que as amostras analisadas estivessem a uma profundidade que representasse o nível da armadura.

A Figura 58 apresenta a perfuração executada no ponto 2 para a coleta da amostra na parte frontal mais baixa do pilar.

**Figura 58 – Perfuração realizada no ponto 2 para coleta**



Fonte: Autor (2022).

Antes de realizar as perfurações na estrutura para coleta dos materiais, fez-se a remoção da pintura superficial nestes locais, de modo que a amostra fosse constituída apenas do revestimento do elemento estrutural.

As 4 (quatro) amostras coletadas foram armazenadas em recipientes herméticos e devidamente identificadas. Posteriormente, foram levadas ao Laboratório de Solos e Tecnologia de Materiais do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) para secagem e ao Laboratório de Análises Físico-Químicas da mesma instituição para a determinação do teor de cloretos.

Para esta determinação, as amostras coletadas foram inicialmente secas em estufa a 105°C até a constância de massa e após, durante o período de resfriamento, permaneceram em dessecadores.

Após o período de secagem e resfriamento, as amostras foram pesadas em uma balança de precisão e reservadas, conforme apresentados na Figura 59 e na Tabela 5.

**Figura 59 – Amostras pesadas em béqueres identificados**



Fonte: Autor (2022).

Tabela 5 – Pesos das amostras (g)

Elemento estrutural	Amostra	Peso (g)
Pilar	1	3,2654
	2	2,4088
	4	3,6447
Viga	3	3,4180

Fonte: Autor (2022).

O ensaio foi realizado segundo o método de Mohr e para a sua execução, os materiais coletados foram analisados separadamente.

Em béqueres de 100 ml, foram colocadas as amostras juntamente com água deionizada. Posteriormente, este material em suspensão foi fervido por até 5 minutos após o ponto de ebulição (Figura 60).

Figura 60 – Amostras em ebulição



Fonte: Autor (2022).

Neste intervalo, foram reservados 4 (quatro) balões volumétricos de 250 ml, funis de vidro e filtros de papel. Os filtros foram colocados sobre o funil e umedecidos com água deionizada para melhor aderirem ao funil.

Após o resfriamento dos materiais, as amostras passaram por um processo de filtração, conforme apresentado na Figura 61.

**Figura 61 – Filtração das amostras**



Fonte: Autor (2022).

O pó filtrado das amostras foi descartado e as soluções resultantes, após resfriamento, foram avolumadas para 250 ml em balões volumétricos (Figura 62), para posteriormente terem seu teor de cloretos avaliado por titulação contra nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ).

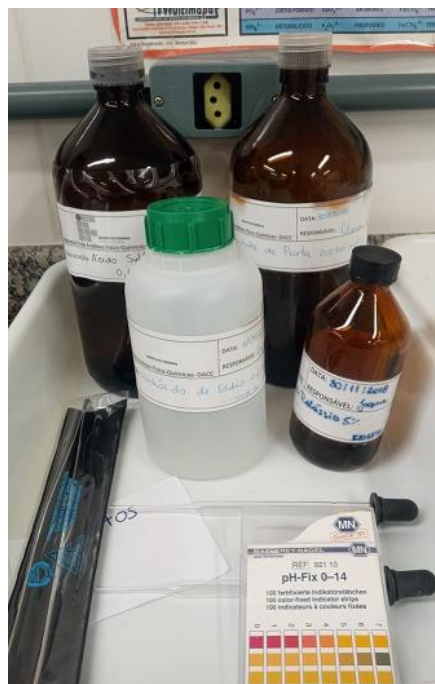
**Figura 62 – Amostras avolumadas para 250 ml em balões volumétricos**



Fonte: Autor (2022).

Foram reservados papéis indicadores de pH para a verificação dos pHs das amostras; soluções de hidróxido de sódio 0,1 mol/L e ácido sulfúrico 0,1 mol/L, para realizar eventuais possíveis correções de pH das amostras, bem como nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,0141 mol/L e cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) 5%, a serem utilizados no ensaio como titulante e indicador, respectivamente (Figura 63).

**Figura 63 – Reagentes a serem utilizados no ensaio**



Fonte: Autor (2022).

Para a realização do ensaio, faz-se necessário que o pH das amostras esteja entre 7 e 10. Para esta verificação, fez-se o uso de papéis indicadores de pH (Figura 64).

**Figura 64 – Verificação do pH das amostras**



Fonte: Autor (2022).

As respectivas leituras são apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6 – pH das amostras**

Elemento estrutural	Amostra	pH
Pilar	1	8
	2	9
	4	9
Viga	3/V	7

Fonte: Autor (2022).

Deste modo, uma vez que o pH das amostras estava dentro do intervalo estipulado, não houve necessidade de correção.

Em seguida, inseriu-se 10 ml de nitrato de prata na bureta para limpeza do equipamento e depois fez-se o descarte desta solução.

Após, para realizar o processo de titulação, foi inserido 40 ml de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) na bureta, a ser utilizado como material titulante.

Objetivando uma maior precisão dos resultados, foram feitas duas titulações para cada amostra e utilizada, para os cálculos, a média entre os dois valores resultantes.

As amostras previamente avolumadas para 250 ml tiveram 100 ml transferidos para provetas e posteriormente foram transferidas para frascos de Erlenmeyer de 250 ml. Foi adicionado 1 ml da solução indicadora de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) 5%, medido com uma pipeta, adquirindo uma coloração amarelo claro (Figura 65).

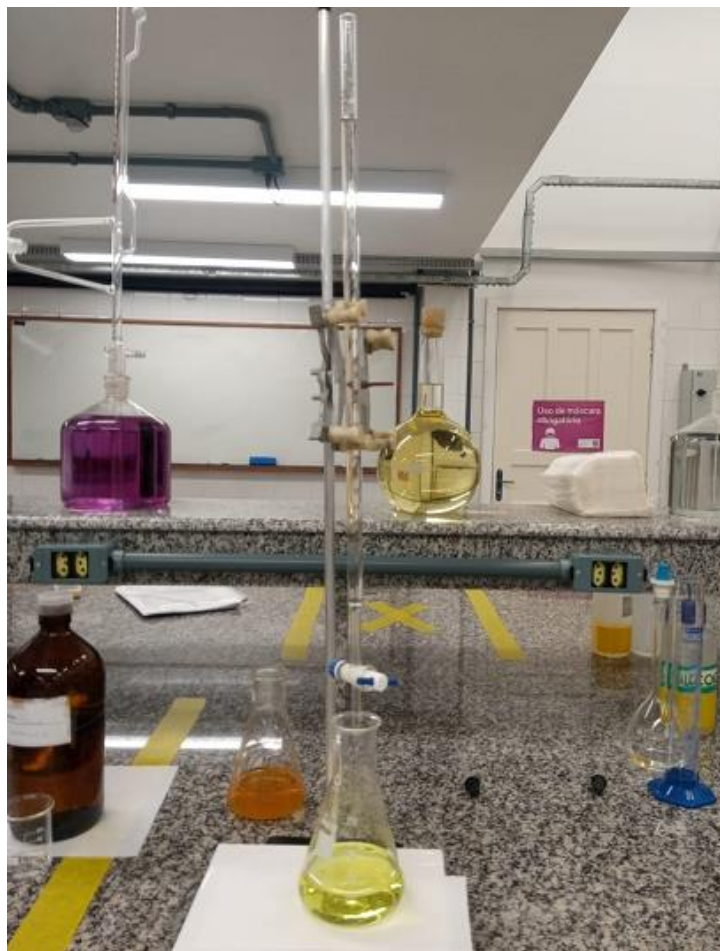
**Figura 65 – Erlenmeyer com amostra contendo solução indicadora de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$**



Fonte: Autor (2022).

Após, fez-se a titulação com a solução de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) da amostra (Figura 66).

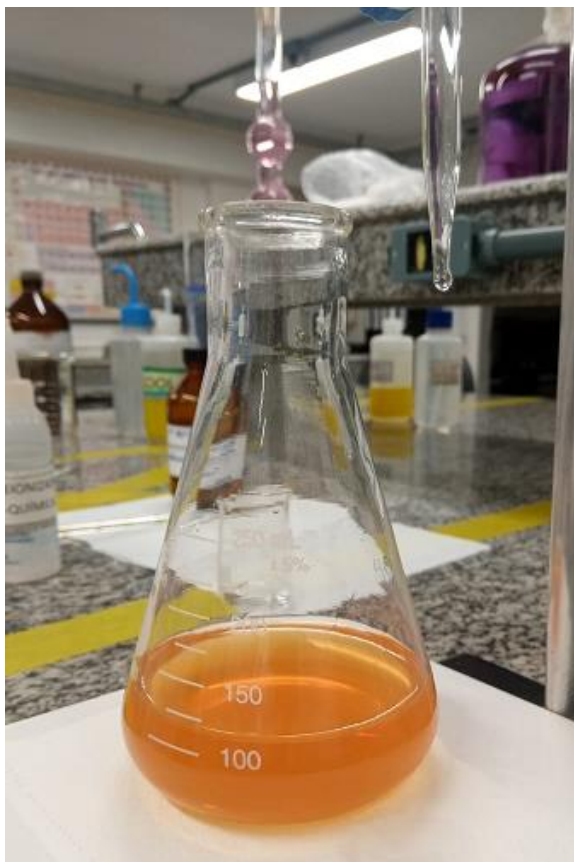
**Figura 66 – Titulação contra nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ )**



Fonte: Autor (2022).

Durante a titulação, fez-se a agitação da amostra com velocidade constante, até o seu ponto de viragem, que era obtido quando a solução assumia uma coloração alaranjada, formando o cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ) e indicando que todo o cloreto da amostra havia sido consumido, conforme apresentado na Figura 67.

**Figura 67 – Material titulado ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ) resultante de uma das amostras analisadas**



Fonte: Autor (2022).

Para padronização do ensaio, utilizou-se a coloração resultante da primeira amostra como referência para as demais.

Ao término de cada titulação, fez-se a leitura do volume gasto, em ml, de  $\text{AgNO}_3$  precipitado pela bureta.

Após, fez-se o descarte do material titulado e o procedimento foi repetido para as demais 7 (sete) amostras.

A partir dos dados obtidos, utilizou-se a Equação 1 apresentada no capítulo 2.10.2 para a determinação da concentração de cloretos da amostra.

O valor resultante foi corrigido para o volume utilizado no ensaio (250 ml), fez-se a relação entre o peso de cloretos e a massa da amostra e calculou-se os teores de cloretos livres das amostras.

### 3.3.1.3 Potencial de corrosão

As leituras de potencial de corrosão foram realizadas conforme o procedimento da norma ASTM C-876 (2015), detalhado no item 2.10.3.

Para as leituras de potencial, foram utilizados um voltímetro de alta precisão e cabos com pontas tipo garra fornecidos pelo Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE) do IFSC, um eletrodo de  $\text{Cu/CuSO}_4$  emprestados pelo Departamento de Engenharia Civil da UFSC e água destilada.

Considerando a grande dimensão da viga a ser analisada, fez-se necessária a utilização de extensos cabos no local para possibilitar as leituras de potencial de corrosão em diferentes pontos do elemento estrutural sem que fosse necessário expor mais barras para realizar as conexões elétricas. Dos cabos utilizados, o de coloração avermelhada media aproximadamente 17,70 metros de comprimento e o cabo preto 11,90 metros.

Por tratar-se de medidas de baixa tensão, primeiramente foram medidas a resistência dos cabos utilizando-se de diferentes aparelhos de medição, como medidores de LCR (indutância, capacitância e resistência) e multímetros digitais portáteis e de bancada, uma vez que suas perdas de carga poderiam ter influência direta nas leituras de potencial.

As Figuras 68 a 73 apresentam algumas das leituras realizadas com os equipamentos mencionados.

**Figura 68 – Medição da resistência dos cabos utilizando medidor de LCR e multímetros**



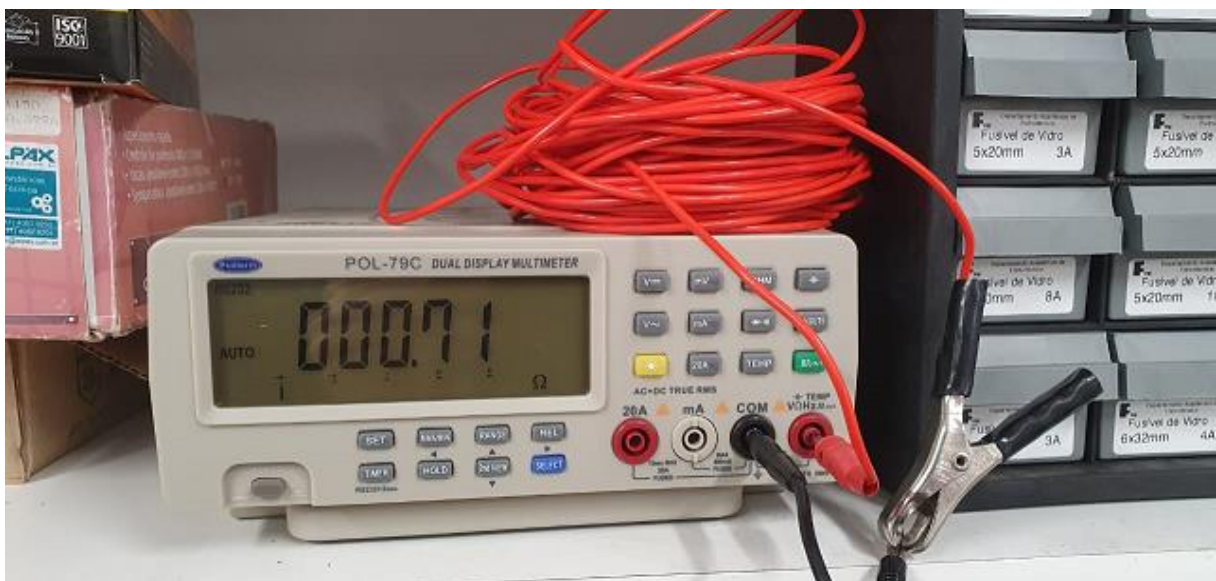
Fonte: Autor (2022).

Figura 69 – Medição da resistência dos cabos utilizando medidor de LCR



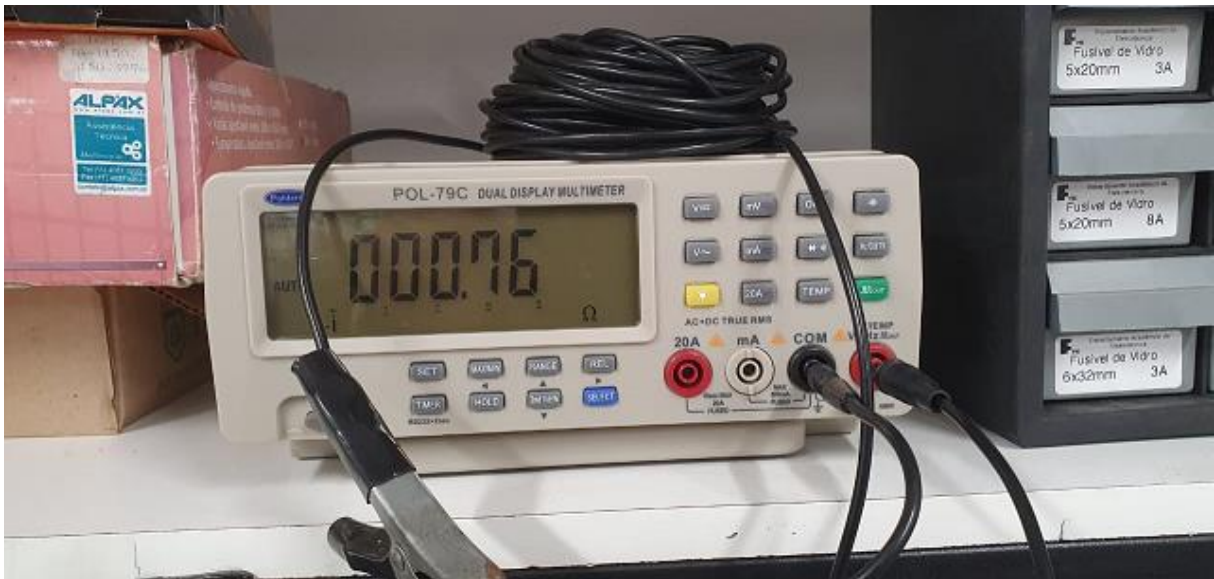
Fonte: Autor (2022).

Figura 70 – Leitura da resistência do cabo vermelho utilizando um multímetro de bancada



Fonte: Autor (2022).

Figura 71 – Leitura da resistência do cabo preto utilizando um multímetro de bancada



Fonte: Autor (2022).

Os valores de teste medidos para os cabos vermelho e preto longos, bem como um cabo preto auxiliar menor encontram-se dispostos na Tabela 7.

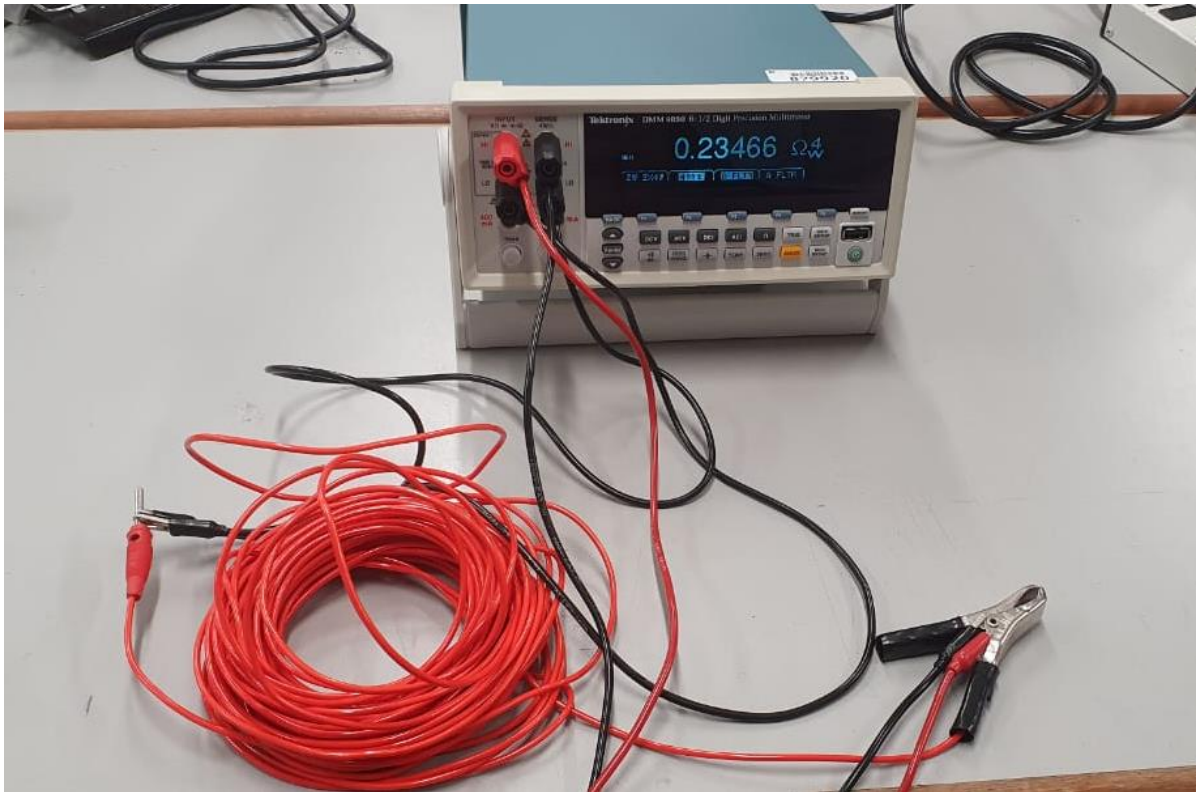
Tabela 7 – Leituras de resistência dos cabos utilizando diferentes equipamentos

Cabo	Medição	Multímetro Bege ( $\Omega$ )	Medidor LCR Cinza ( $\Omega$ )	Multímetro Azul ( $\Omega$ )	Multímetro Laranja ( $\Omega$ )
Preto Pequeno	1	0,500	0,000	0,310	0,200
	2	0,400	0,000	0,320	0,220
	3	0,390	0,000	0,300	0,250
	4	0,410	0,000	0,330	0,250
	5	0,380	0,000	0,300	0,230
	6	0,140	0,000	-	-
	Média	0,370	0,000	0,312	0,230
Preto Longo	1	0,180	0,035	0,340	0,420
	2	0,250	0,005	0,350	0,390
	3	0,330	0,005	0,350	0,430
	4	0,310	0,000	0,350	0,410
	5	0,350	0,000	0,340	0,400
	6	0,300	-	-	-

	<b>Média</b>	<b>0,287</b>	<b>0,009</b>	<b>0,346</b>	<b>0,410</b>
<b>Vermelho Longo</b>	<b>1</b>	<b>0,110</b>	<b>0,000</b>	<b>0,270</b>	<b>0,350</b>
	<b>2</b>	<b>0,200</b>	<b>0,000</b>	<b>0,260</b>	<b>0,300</b>
	<b>3</b>	<b>0,220</b>	<b>0,000</b>	<b>0,270</b>	<b>0,360</b>
	<b>4</b>	<b>0,280</b>	<b>0,000</b>	<b>0,280</b>	<b>0,310</b>
	<b>5</b>	<b>0,310</b>	<b>0,000</b>	<b>0,260</b>	<b>0,300</b>
	<b>6</b>	<b>0,260</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>Média</b>	<b>0,230</b>	<b>0,000</b>	<b>0,268</b>	<b>0,324</b>

Fonte: Autor (2022).

Figura 72 – Leitura da resistência do cabo vermelho utilizando um multímetro de bancada



Fonte: Autor (2022).

**Figura 73 – Leitura da resistência do cabo preto utilizando um multímetro de bancada**



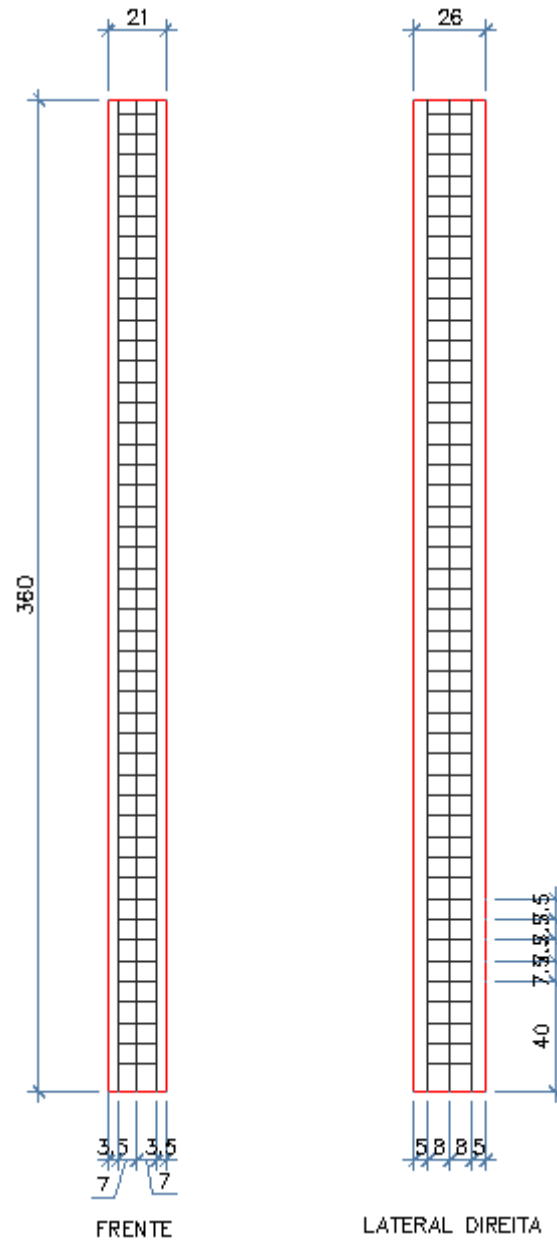
Fonte: Autor (2022).

Deste modo, objetivando uma maior precisão, foram medidos os valores de 0,28  $\Omega$  para o cabo preto e 0,23  $\Omega$  para o cabo vermelho a partir da leitura do multímetro de bancada, ainda a ser verificada a necessidade de cálculo e eventual correção das medições considerando estas resistências.

No local, primeiramente, foram definidos os locais de medição na estrutura, determinados utilizando como base as posições das barras obtidas no ensaio de pacometria.

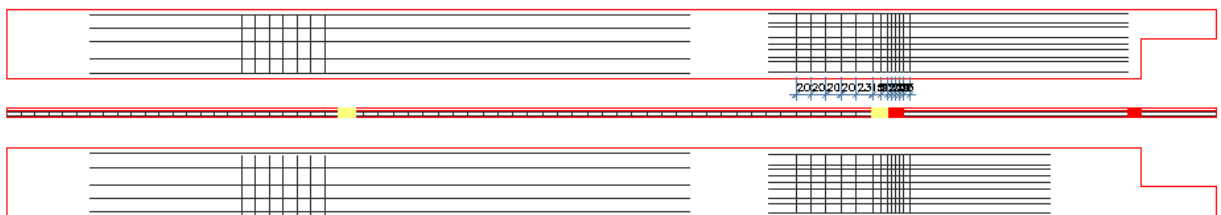
Para auxiliar o registro das leituras de potencial no local, foram elaborados croquis dos elementos estruturais indicando as posições das barras, apresentados nas Figuras 74 e 75.

Figura 74 – Croqui com demarcação da armadura no pilar



Fonte: Autor (2022).

Figura 75 – Croqui com demarcação das armaduras da viga



Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, parte do concreto do cobrimento da viga foi removido com auxílio de um formão e de um martelo, apenas com dimensão suficiente para possibilitar a conexão elétrica do cabo com o polo positivo do voltímetro.

As poeiras e partículas soltas da armadura foram removidas com auxílio de um pincel e após, a barra foi lixada, de modo a remover indícios de corrosão e sujeiras existentes, sendo depois novamente limpas com pincel.

Após, o equipamento de ensaio foi organizado e devidamente preparado, e a solução de  $\text{CuSO}_4$  foi inserida no eletrodo de referência.

O cabo vermelho com extremidade tipo “garra” ligado no terminal positivo do multímetro foi conectado à armadura exposta (Figura 76), enquanto o cabo preto foi conectado no polo negativo do multímetro e este ligado ao eletrodo, de modo a possibilitar a leitura da diferença de potencial.

**Figura 76 – Conexão do polo positivo com a barra exposta**



Fonte: Autor (2022).

Antes de iniciar as leituras, foi realizado o teste do eletrodo para verificação da necessidade de umedecimento da superfície a ser avaliada, onde foi aspergida água destilada sobre o local de medição e posicionado o eletrodo sobre este local, aguardando a estabilização do valor mostrado no aparelho.

Para aumentar a condutividade na superfície, foi utilizada uma esponja umedecida com solução de detergente e água destilada entre a extremidade porosa do eletrodo e a superfície do concreto, conforme sugerido pela norma ASTM C-876 (2015).

A Figura 77 apresenta o teste do eletrodo sendo realizado na base do pilar.

**Figura 77 – Realização do teste do eletrodo**



Fonte: Autor (2022).

Enquanto em contato com a superfície do concreto no momento da leitura, atentou-se para que o eletrodo estivesse sempre em ângulo que possibilitasse que a solução de  $\text{CuSO}_4$  permanecesse em contato com o tampão poroso do eletrodo, de modo a permitir um adequado contato entre os materiais.

Para o pilar, foram medidos os potenciais nas faces frontal e lateral direita, enquanto para a viga, foram feitas em locais específicos da parte frontal, como a região próxima ao pilar e seu entorno, evitando-se os locais com corrosão aparente nas barras já expostas, uma vez que nestes casos as barras já se encontravam em estado corrosivo. Todos os pontos avaliados ficavam localizados na reta os vergalhões e entre estribos, de modo a avaliar a probabilidade de corrosão para estas barras.

A Figura 78 apresenta o ensaio em andamento na face frontal do pilar.

**Figura 78 – Eletrodo na face frontal do pilar**



Fonte: Autor (2022).

As leituras foram realizadas em diferentes dias com condições climáticas semelhantes.

Foram registradas as leituras de potencial e respectivos locais de realização, de modo a possibilitar a identificação dos locais mais afetados da estrutura.

Por fim, utilizando o software Autodesk AutoCAD, os dados referentes às leituras de potencial foram representados em suas respectivas posições para posterior classificação conforme os critérios de probabilidade de corrosão normativos e elaborados os mapas de contornos equipotenciais para ambos os elementos estruturais analisados.

Além disso, as informações qualitativas referentes aos locais mais críticos verificados na estrutura foram compiladas e serão, posteriormente, disponibilizadas ao GBS, visando possibilitar uma avaliação mais cautelosa e contribuir com posteriores planos de manutenção da edificação.

## **4 RESULTADOS E ANÁLISE**

Os resultados obtidos para o trabalho encontram-se dispostos ao longo do capítulo 4. Primeiramente, são apresentadas as espessuras dos cobrimentos verificadas no local e uma avaliação quanto às conformidades com as respectivas normas de execução. Posteriormente, são calculadas as perdas de seção das armaduras expostas, com base nas bitolas de projeto e as aferidas no local. Por fim, são expostos os resultados obtidos com a realização dos ensaios de potencial de corrosão, profundidade de carbonatação e de teor de cloretos, bem como análises destes dados.

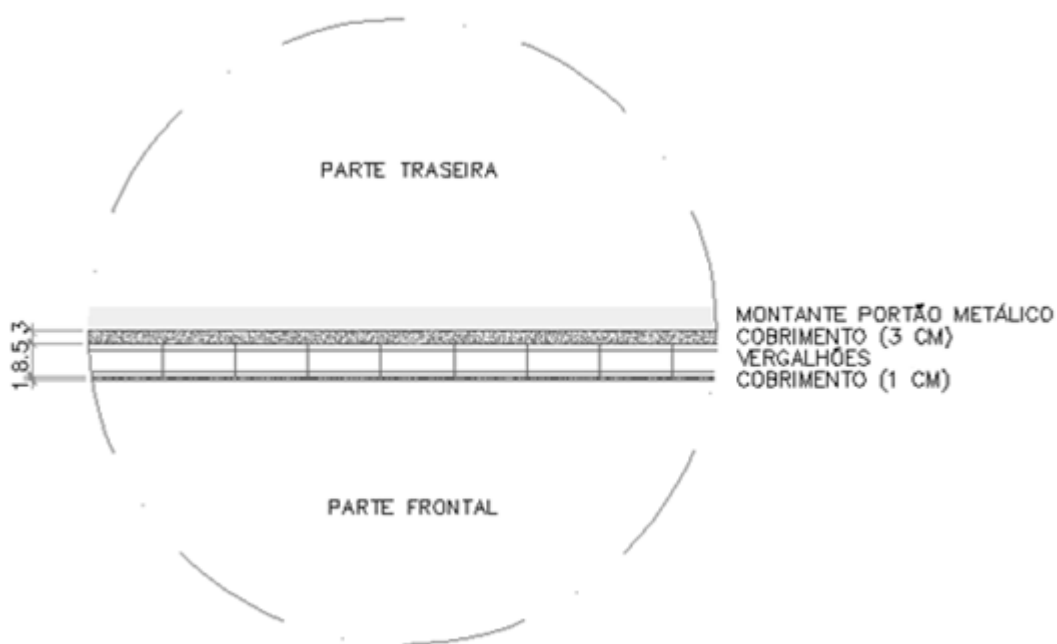
### **4.1 Cobrimento**

Conforme apresentado nas seções 2.5 Agressividade ambiental, 2.6 Cobrimento e 3.1 Informações climáticas, a edificação fica localizada em um ambiente de classe de agressividade III e deste modo, o cobrimento nominal mínimo exigido pela NBR 6118 (2014) é de 35 mm para lajes e 40 mm para vigas, pilares e elementos estruturais em contato com o solo.

Para o primeiro elemento estrutural analisado, correspondente à viga da fachada frontal da edificação, foi verificado que o cobrimento originalmente executado possui 10 mm em sua parte frontal, 10 mm em sua parte inferior e 30 mm em sua parte traseira, não possuindo um cobrimento adequado em nenhuma de suas superfícies, segundo os critérios normativos atuais. Contudo, ressalta-se que a edificação foi construída previamente à elaboração da norma e dos requisitos mencionados.

Na Figura 79, é apresentado um croqui exemplificando o cobrimento verificado na viga.

**Figura 79 – Cobrimento da viga da fachada noroeste (frontal) da edificação**



Fonte: Autor (2022).

Além disso, atualmente, seu cobrimento encontra-se consideravelmente comprometido e reduzido em diversos pontos, com espessuras inferiores às de sua execução, além de apresentar alguns pontos com sua armadura completamente exposta.

Para o segundo elemento avaliado, referente ao pilar desta mesma fachada, pelo ensaio de pacometria foi verificado que possui um cobrimento de aproximadamente 60 mm na parte frontal e 80 mm e sua lateral, atendendo aos critérios normativos, além de encontrar-se em relativo bom estado de conservação em grande parte de sua extensão e não apresentar armaduras expostas.

Deste modo, tem-se que o primeiro elemento analisado possui cobrimento insuficiente para assegurar as condições mínimas recomendadas pela normalização e requer intervenções imediatas, considerando seu posicionamento e exposição visível de armadura.

Para o segundo elemento estrutural, embora este possua um cobrimento adequado e esteja em bom estado de conservação por quase toda sua extensão, este apresenta fissuras próximo a sua base, provavelmente em decorrência de corrosão, devendo também receber manutenção.

## 4.2 Perdas de seção transversal

Durante a inspeção visual do local, foi verificado que algumas regiões da viga da fachada frontal da edificação tinham sua armadura exposta e já encontravam-se em estado de corrosão.

As regiões verificadas estão localizadas na parte inferior da viga e apresentam diferentes espessuras, decorrente do processo corrosivo. Por conta disso, as barras foram medidas em diferentes pontos nos dois vergalhões principais expostos, desconsiderando as duas barras da emenda, após a lixação e a remoção dos produtos de corrosão de sua superfície.

As bitolas das barras de aço originalmente executadas foram supostas com base nas partes das barras em que as mesmas encontravam-se em melhor estado.

Os pontos verificados são identificados na Figura 80 e os diâmetros das barras expostas medidos, suas respectivas reduções de seção calculadas e a verificação de necessidade de reforço estrutural e/ou recomposição de barras encontram-se dispostos na Tabela 8.

Figura 80 – Regiões medidas, em mm, com o paquímetro



Fonte: Autor (2022).

Tabela 8 – Perdas de seção (%)

Localização na viga	Identificação	Bitola original suposta (mm)	Bitola medida (mm)	Perda de seção (%)
Inferior Parte central	1	16,0	15,0	6,25
	2	16,0	14,0	12,50
	3	16,0	16,0	0,00
	4	16,0	14,6	8,75
	5	16,0	16,0	0,00
	6	16,0	13,8	13,75
	7	16,0	13,9	13,13
	8	16,0	13,8	13,75
	9	16,0	16,0	0,00
	10	16,0	17,6	10,00
	11	16,0	13,7	14,38
	12	16,0	13,7	14,38
	13	16,0	14,2	11,25

Fonte: Autor (2022).

Deste modo, verificou-se que apesar de algumas das barras dos elementos avaliados terem sofrido considerável redução em sua seção transversal, considerando o valor comumente adotado de 20% de perda crítica mencionado na seção 2.5 deste trabalho, não foi detectada a necessidade de recomposição das barras até o momento da verificação.

#### 4.3 Ensaio de profundidade de carbonatação

Após a aspersão do indicador fenolftaleína para a determinação da profundidade de carbonatação, foi verificado que todas as superfícies das perfurações realizadas no pilar sofreram alteração em sua coloração para roxo-púrpura, tanto a nível superficial como a nível de armadura, indicando que estas encontram-se com pH acima de 9,5.

Deste modo, tem-se que nenhum dos elementos estruturais analisados encontra-se carbonatado, conforme apresentado na Tabela 9 e nas Figuras 81, 82 e 83.

Tabela 9 – Leituras de profundidade de carbonatação (mm)

Elemento Estrutural	Localização	Identificação	Profundidade de perfuração (mm)	Diâmetro (mm)	Profundidade de carbonatação (mm)	Classificação
2: Pilar da fachada noroeste	Frente h = 160 cm	P1	13,9	13,5	0,00	Não carbonatado
	Frente h = 60 cm	P2	11,4	14,2	0,00	Não carbonatado
	Lateral direita h = 60 cm	P4	16,3	13,0	0,00	Não carbonatado*

Fonte: Autor (2022).

Figura 81 – Perfuração P1 após a ação do reagente fenolftaleína



Fonte: Autor (2022).

**Figura 82 – Perfuração P2 após a ação do reagente fenolftaleína**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 83 – Perfuração P4 após a ação do reagente fenolftaleína**



Fonte: Autor (2022).

Considerando que os locais de análise não têm contato direto com dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) além do existente no ar atmosférico, bem como apresentava pintura em suas superfícies, tem-se que estes podem ter sido fatores influentes na conservação do pH alcalino do concreto.

Contudo, foi verificado que no fundo de duas das perfurações realizadas, referentes aos pontos P1 e P4, a coloração permaneceu inalterada, assim como parte das laterais internas da perfuração do ponto P4, o que indicaria a carbonatação do concreto.

#### 4.4 Ensaio de teor de cloretos

A partir da análise em laboratório das 4 (quatro) amostras coletadas, foram obtidos os valores de teor de cloretos dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Teor de cloretos

Elemento estrutural	Amostra	Volume gasto de AgNO <sub>3</sub> (ml)	Volume médio gasto de AgNO <sub>3</sub> (ml)	Peso de cloretos*0,25 (mg/L)	Teor de cloretos (%)*																
Pilar (frente, h = 160 cm)	P1	2,4	2,35	2,94	0,09																
		2,3				Pilar (frente, h = 60 cm)	P2	1,6	1,60	2,00	0,08	1,6	Pilar (lateral, h = 60 cm)	P4	2,4	2,40	3,00	0,08	2,4	Viga (parte inferior)	P3/V
Pilar (frente, h = 60 cm)	P2	1,6	1,60	2,00	0,08																
		1,6				Pilar (lateral, h = 60 cm)	P4	2,4	2,40	3,00	0,08	2,4	Viga (parte inferior)	P3/V	0,8	0,85	1,06	0,03	0,9		
Pilar (lateral, h = 60 cm)	P4	2,4	2,40	3,00	0,08																
		2,4				Viga (parte inferior)	P3/V	0,8	0,85	1,06	0,03	0,9									
Viga (parte inferior)	P3/V	0,8	0,85	1,06	0,03																
		0,9																			

\* porcentagem em relação à massa de concreto

Fonte: Autor (2022)

Logo, pode-se verificar que a região analisada da viga apresenta uma menor concentração de cloretos livres em relação à massa de concreto (0,03%),

quando comparados aos três pontos verificados do pilar (0,09, 0,08 e 0,08%), que tem sua parte superior com maior teor em relação aos pontos inferiores.

Devido ao alto potencial de corrosão, o teor limite de cloretos totais aceito corresponde a 0,4% em relação à massa de cimento, ou entre 0,05% e 0,1% em relação à massa de concreto (ANDRADE, 1992 *apud* BONADEU, 2016).

Deste modo, tem-se que todos os pontos do pilar apresentam quantidade de cloretos suficiente para despassivar a armadura, enquanto para a viga, embora os valores encontrados estejam abaixo do valor de referência, estes referem-se apenas ao teor de cloretos livres, havendo um maior teor de cloretos na estrutura.

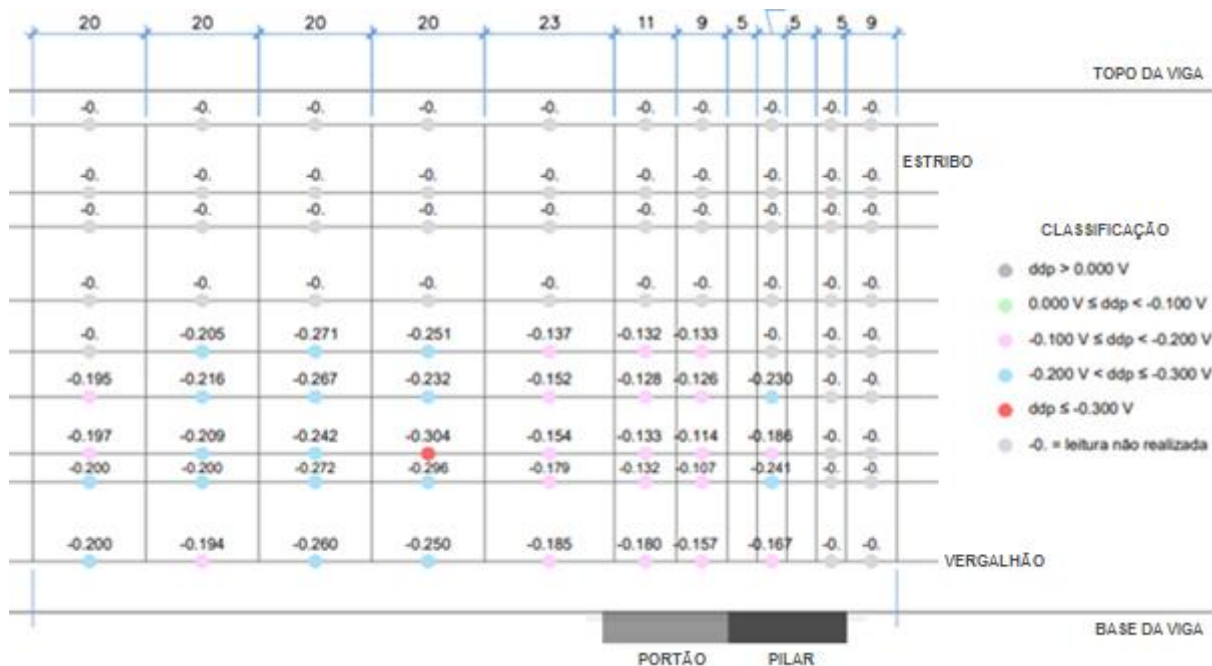
#### **4.5 Ensaio de potencial de corrosão**

Conforme apresentado na seção 2.10.3, a norma ASTM C-876 (2015) caracteriza as leituras de potencial de corrosão como probabilidade superior a 90% de que não haja ocorrência de corrosão para leituras de potencial mais positivas que -0,20 V, atividade incerta de corrosão para intervalos entre -0,20 V e -0,35 V e probabilidade superior a 90% de ocorrência de corrosão no concreto para áreas mais eletronegativas que -0,35 V.

Para os 38 pontos avaliados na viga, os valores obtidos nas leituras de potencial encontraram-se dentro da faixa de -0,304 V e -0,107 V, sendo 18 leituras consideradas com probabilidade de corrosão incerta e 20 leituras com probabilidade inferior a 90% de ocorrência de corrosão nas barras.

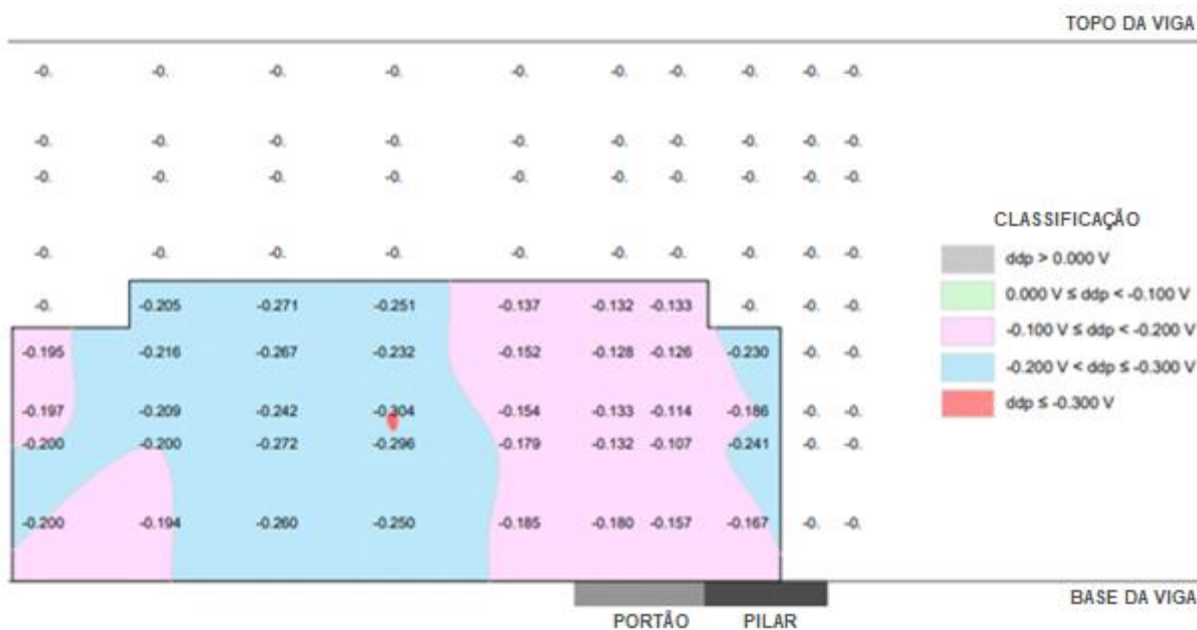
Na Figura 84 são apresentados os pontos avaliados e respectivos potenciais nas regiões avaliadas do elemento estrutural e, na Figura 85, o mapa de contornos equipotenciais desenvolvido a partir destas leituras. Os pontos de leitura e as regiões foram separadas por cores a cada 0.1 V, de modo a facilitar a visualização dos resultados. Ressalta-se que os pontos com leituras identificadas como “-0.”, de cor cinza claro não tiveram seu potencial medido, devido à dificuldade de acesso a estes locais.

Figura 84 – Leituras de potencial (V) realizadas na viga no elemento estrutural 1: viga



Fonte: Autor (2022).

Figura 85 – Mapa de contornos equipotenciais do elemento estrutural 1: viga



Fonte: Autor (2022).

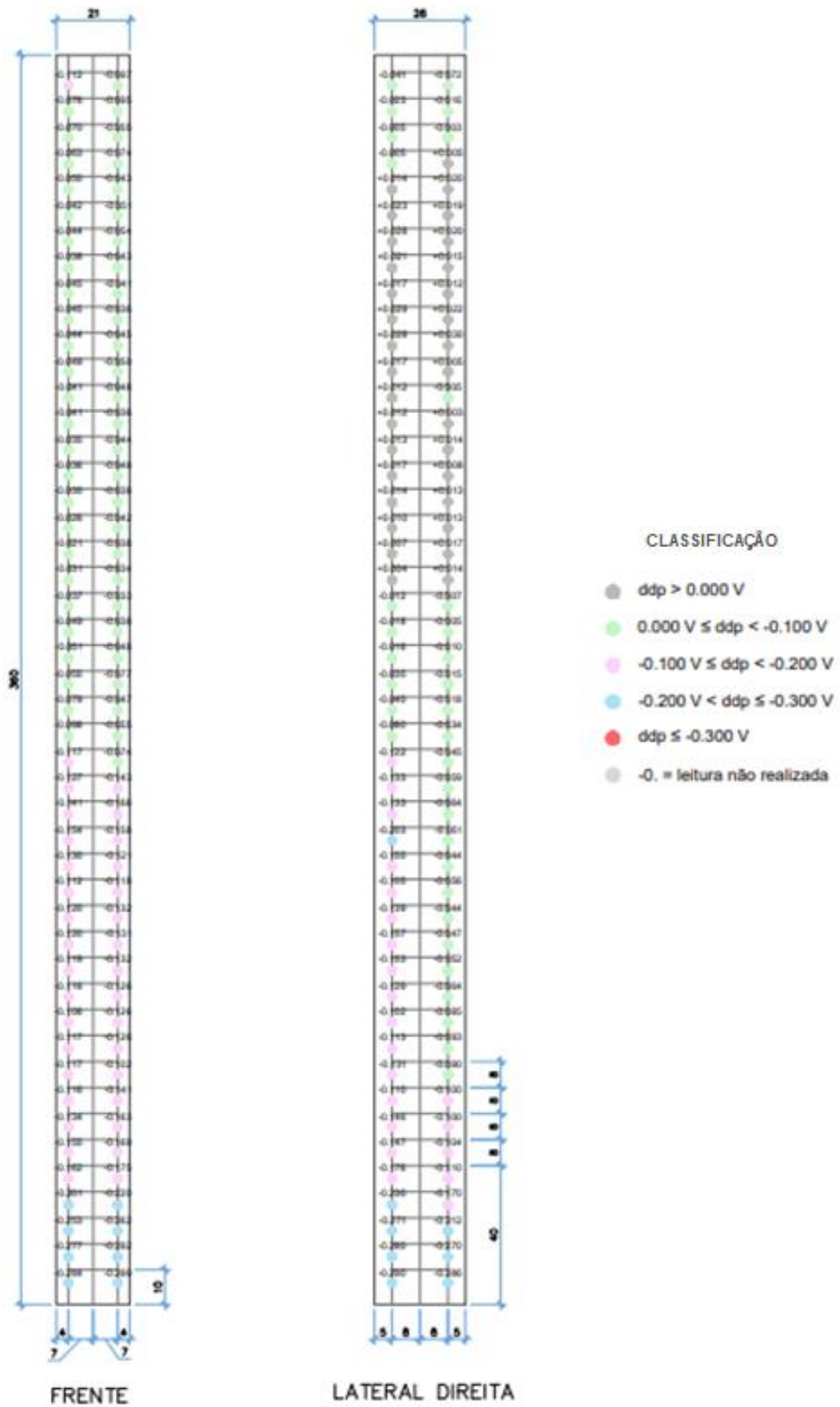
Ressalta-se que todos os croquis desenvolvidos são também apresentados nos Apêndices do trabalho.

Deste modo, pelos valores obtidos no ensaio, para a região, a parte próxima ao pilar apresenta maior probabilidade de corrosão em relação ao vão esquerdo adjacente, tornando a aumentar na parte inferior da viga ao distanciar-se do pilar.

Para o pilar da edificação, foram feitas leituras em 94 pontos de sua parte frontal e outros 94 pontos de sua lateral, totalizando 188 pontos para este elemento estrutural.

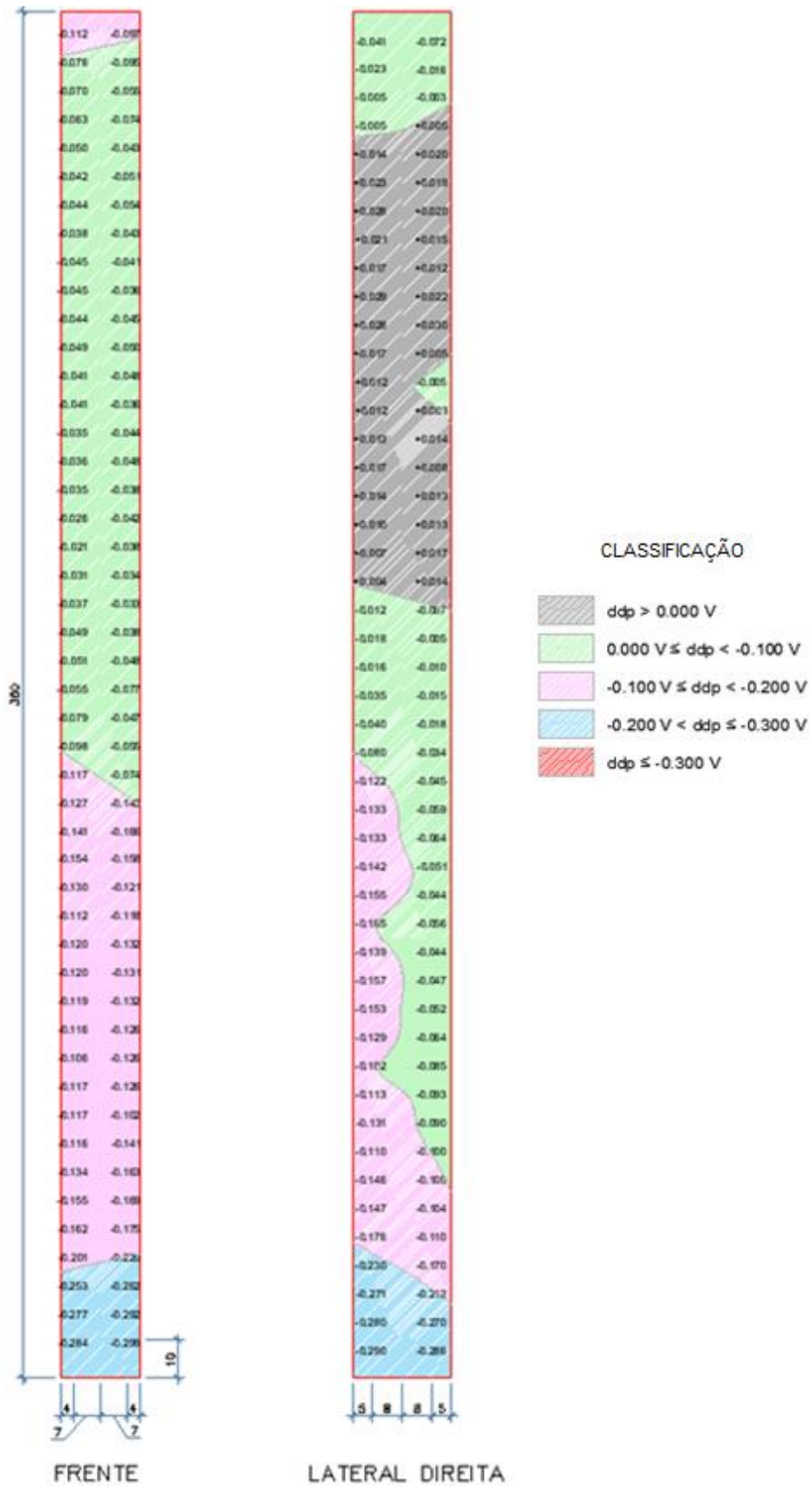
A Figura 86 apresenta os valores dos potenciais obtidos e a Figura 87 o mapa de contornos equipotenciais para os respectivos valores.

Figura 86 – Leituras de potencial realizadas na viga no elemento estrutural 2: pilar



Fonte: Autor (2022).

Figura 87 – Mapa de contornos equipotenciais do elemento estrutural 2: pilar



Fonte: Autor (2022).

Deste modo, a parte frontal do pilar apresentou 8 (oito) pontos com atividade de corrosão incerta e 86 pontos com 90% de probabilidade de não ocorrência de corrosão. Para a parte lateral, foram verificados 7 (sete) pontos com atividade de corrosão incerta e 87 pontos com 90% de probabilidade de não ocorrência de corrosão.

Algumas das regiões verificadas já encontram-se em estado corrosivo ou apresentam grandes fissuras que sugeririam alta probabilidade de corrosão. No entanto, todos os valores apresentaram-se inferiores ao esperado, considerando os valores normativos para classificação dos potenciais de corrosão.

Para a viga, considerando os valores obtidos para o local e o real estado da estrutura, os valores não encontram-se coerentes com as informações de literatura, uma vez que as partes inferiores da viga encontram-se consideravelmente mais comprometidas que sua parte central e devido ao cobrimento danificado, ou inexistente, leituras mais eletronegativas seriam esperadas.

Para o pilar, embora as leituras não tenham sido coerentes no que diz respeito aos valores absolutos normativos, quando considerados a leitura de um ponto em relação a outro adjacente, estes apresentaram-se mais eletronegativos nas regiões onde esperava-se este comportamento, em decorrência de suas posições, cobrimento e fissuras aparentes. Ainda, os valores diminuem ao aproximarem-se do centro e aumentam ao aproximar-se do topo do pilar e da base da viga.

Deste modo, apesar de os valores absolutos terem sido inferiores ao esperado, a tendência destas leituras demonstra-se coerente, visto que as regiões mais próximas dos locais com armadura exposta, como as regiões próximas as partes inferiores à viga, assim como locais com fissuras como a base do pilar apresentam potenciais de corrosão mais eletronegativos, indicando uma maior probabilidade de ocorrência de corrosão quando comparado às regiões mais afastadas e em melhor estado de conservação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise das informações obtidas, concluiu-se que alguns dos pontos avaliados da estrutura da edificação encontram-se comprometidos e requerem manutenção imediata, dada a gravidade e intensidade do processo corrosivo, da posição geográfica da edificação, da agressividade ambiental, dos locais de exposição e do atual estado da estrutura.

Pelo ensaio de teor de cloretos, na parte inferior da viga (ponto 3) foi verificado um teor de cloretos livres de 0,03% em relação à massa de concreto. No entanto, este valor pode estar aquém do real, por conta do método de coleta e preparação da amostra. Além disso, há que se considerar a existência de alguma quantidade de cloretos combinados, que parece indicar a possibilidade de conteúdo de cloretos suficiente para a despassivação da armadura.

Em relação ao segundo elemento avaliado, referente ao pilar da fachada noroeste, foram verificados teores de cloretos livres de 0,09% para o ponto 1 e 0,08% para os pontos 2 e 4, caracterizando concentrações de cloretos suficientes para a despassivação da armadura, mesmo desconsiderando a parcela relativa a cloretos combinados.

Pelo ensaio de profundidade de carbonatação, verificou-se que a parte frontal do pilar analisado aparenta não encontrar-se carbonatado a nível interno e superficial. No entanto, o ponto verificado na lateral direita aparentou possuir uma camada superficial de pH elevado e a parte mais profunda carbonatada.

Para estes casos, acredita-se que algum reparo tenha sido realizado sobre a face do pilar (região superficial não carbonatada) em algum momento de sua vida útil, e este novo revestimento tenha influenciado nos resultados, ou ainda, que se tenha alguma condição de superfície interna que não tenha exposto a pasta de cimento para medição ou ataque por sulfato.

Pelo ensaio de potencial de corrosão, foi verificado que as regiões próximas das áreas danificadas da viga e do pilar, ou seja, com exposição da armadura ou com fissuras em suas proximidades, como próximo às partes inferiores da viga e próximo à base do pilar, apresentaram valores mais eletronegativos.

Contudo, mesmo os valores mais eletronegativos apresentaram-se dentro do intervalo de -0,20 V e -0,35 V, indicando probabilidade incerta de corrosão e, conforme previamente descrito, devido ao real estado de corrosão da estrutura, diferem das informações de literatura.

Possíveis erros foram considerados, como problemas com o multímetro ou com os cabos utilizados, embora após diversos testes, as hipóteses tenham sido descartadas ao fazer o mesmo teste com diferentes aparelhos e realizar as mesmas leituras com diferentes cabos, que possuíam resistência praticamente desprezível.

Também foram considerados possíveis problemas com o eletrodo de referência ou com a conexão com a barra exposta, que, de modo a evitar danificar a estrutura mais que o necessário, fez-se uma pequena exposição de uma barra parcialmente exposta para utilização, embora esta estivesse em boas condições.

De modo a sanar estes questionamentos, sugere-se a repetição deste ensaio realizando a conexão elétrica com uma barra em melhor estado e a realização de testes com o eletrodo em diferentes edificações, a fim de verificar se alguma de suas partes esteja comprometendo as leituras de potencial. Ou, se possível, comparar leituras obtidas com o eletrodo utilizado com leituras de outro eletrodo para a verificação de quaisquer eventuais diferenças.

Assim, considerando as informações apresentadas, tem-se que o pilar da edificação encontra-se em razoável estado de conservação, com alguns pontos de atenção, como a sua base, e a viga requer manutenção imediata.

O cobrimento da viga não atende aos critérios normativos atuais, visto que não possui 40 mm em nenhuma de suas faces, além de encontrar-se inexistente ou consideravelmente danificado em partes da estrutura, devendo receber adequada manutenção para a garantir a segurança da estrutura, conforme preconizado pela norma ABNT NBR 6118 (2014) para a região e respectiva classe de agressividade.

As regiões com leituras mais eletronegativas, como as regiões próximas a parte inferior da viga, a base do pilar e alguns dos locais próximos às armaduras expostas da parte frontal da viga apresentam grande probabilidade de corrosão, além de possuírem elevado teor de cloretos. Deste modo, estes locais requerem intervenções corretivas o mais brevemente possível, enquanto algumas das demais regiões avaliadas destes elementos despertam menor preocupação.

Ainda, ressalta-se que, até o momento da avaliação, quando analisadas apenas as perdas de seção das armaduras, devido à redução ser inferior a 20%, a viga da fachada frontal da edificação parece não exigir reforço estrutural, embora já tenham tido perda de seção. Dado a exposição da estrutura e as informações mencionadas, considera-se no local a necessidade de intervenção.

Por fim, entende-se que a viga aparenta estar superestimada em relação ao carregamento atuante sobre ela, referente apenas à cobertura do local, e por isso, apesar do processo corrosivo intenso visível, ainda não parece apresentar risco de colapso. No entanto, considera-se relevante que um engenheiro calculista seja consultado a respeito.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se:

Levantamento e análise de todas as patologias da edificação, visto que, conforme apresentado no capítulo 3, a estrutura apresenta diversas patologias além da corrosão de armadura e do concreto, como infiltrações, patologias de pintura, deslocamentos, fissuras, entre outros.

Elaboração de um plano de manutenção para as patologias da edificação, bem como manual de uso e operação do local.

Acompanhamento das obras de manutenção e realização de novos levantamentos e ensaios após finalizados os reparos da edificação.

Estudar a diferença entre leituras de potencial em corpos de prova com diferentes espessuras de revestimento e com revestimentos de diferentes composições, utilizando o mesmo eletrodo de referência.

Elaboração do projeto estrutural *as built* e/ou *as is* da edificação do GBS, bem como dos demais projetos complementares, considerando a ausência de informações disponíveis e visando auxiliar com futuras reformas e manutenções.

Estudar e quantificar a influência de diferentes profundidades de carbonatação na medida do potencial de corrosão.

Estudar a influência da existência de processo corrosivo na barra utilizada como conexão elétrica para medidas do potencial de corrosão.

Estudar a possibilidade de correção das leituras de potencial de corrosão por meio de medidas de resistividade do concreto, uma vez que a umidade, a presença de camadas carbonatadas, a presença de íons cloreto e a composição do concreto, entre outros fatores, afetam a resistividade do concreto e, por consequência, as leituras de potencial de corrosão.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-876**: Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. Filadélfia, Estados Unidos da América, 2015.

ANDRADE, Jairo J. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras**: iniciação por cloretos. Porto Alegre, 2001, 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ANDRADE PERDRIX, María del Carmen. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.

ARAUJO, Adriana de; PANOSSIAN, Z. **Comportamento eletroquímico do aço-carbono em concreto: passivação e corrosão**. Techne: revista de tecnologia da construção. São Paulo, v. 24, p. 46-51, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13797**: Água - determinação de cloretos - métodos titulométricos do nitrato mercúrico e do nitrato de prata. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BARROS, Sandro Gaynett de. **Análise do teste prático de natação aplicado pelo corpo de bombeiros militar de Santa Catarina aos candidatos a guarda vidas civis na atividade de salvamento aquático**. 36f. 2011. Relatório de Estágio (Bacharel em Educação Física e Esporte) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2011. Disponível em: <[https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/12777/1/103044\\_Sandro.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/12777/1/103044_Sandro.pdf)>. Acesso em: 13 jan. 2022.

BOLINA, Fabrício L. **Fundamentos da avaliação da probabilidade de corrosão das estruturas de concreto inseridas em ambientes de alta agressividade**. 2013. 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Patologia das Obras Civas). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, 2013.

BONADEU, Jefferson Rodrigo. **Análise da penetração de cloretos no concreto armado expostos em ambiente natural e simulado**. 2016. 57 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

CALÇADA, Luciana Maltez Lengler. **Estudo da eficácia de migração em condições de fluxo não estacionário na previsão da penetração de cloretos em concreto**. Florianópolis, 2004, 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini, 1997.

DAL MOLIN, Denise C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. 1988. 238 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

EUROPEAN STANDARDS. **UNE EN 14630**: Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method. Ixelles, Bélgica. 2007.

FARIAS, G.C.; SILVA, D.S. **Análise da evolução da profundidade de carbonatação em estruturas de concreto ao longo do tempo**. Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil UNESC, Santa Catarina, jul. 2019. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/7132/1/GabrielaCiprianoDeFarias.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2022.

FELIÚ, S. **Principios de corrosión electroquímica y tipos de ataque**. In: FERNÁNDEZ, J. A. G. (Ed.). Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. Madrid: CSIC, p. 10-44, 1984.

FERNANDES, Andréa Sousa da Cunha; NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da. **Corrosão em estruturas de concreto armado**. Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula. v.1. n.1. p.47-59. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <<http://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/459>>. Acesso em: 04 dez. 2021

FERREIRA, MURILLO B. **Estudo da carbonatação natural de concretos com diferentes adições minerais após 10 anos de exposição**. 2013. 197 f. Dissertação (Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

FRAUCHES-SANTOS, C. *et al.* **A corrosão e os agentes anticorrosivos**. Revista Virtual de Química, v. 6, n. 2, 2014.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GODINHO, Jailson O. **Estudo sobre o emprego de caiaque inflável de dois lugares para operações de salvamento aquático em rios, lagos e represas**. Centro de Ensino Bombeiros Militar. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização de Bombeiros para Oficiais). 2006.

GOOGLE, INC. Google Earth. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/search/27%C2%BA35%2732%22+S+48%C2%BA33%2747%22+W/@-27.592222,-48.5630556,8.32222773a,923.61075082d,35y,0h,45t,0r/data=CI0aMxltGRX3xN-blzvAITLqtTQSSEjAKhkyN8K6MzUnMzliIFMgNDjCujMzJzQ3liBXGAlgASImCiQJIIPaUxOXO8AR8E6D02SYO8AZ-8F2T0xHSMahiNrtD-xISMAoAg>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

GOOGLE, INC. Google Maps. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Corpo+de+Bombeiros+Militar+-+Grupamento+de+Busca+e+Salvamento+-+GBS/@-27.5922997,-48.564833,661m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x95273811789d78c9:0xa05cb8380c1e96f7!8m2!3d-27.5922997!4d-48.5630514>>. Acesso em: 25 dez. 2021.

GRAEFF, Angela *et al.* **Perda de aderência entre o concreto e a armadura devido à corrosão**: análise experimental e implicações no dimensionamento. Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2007.

HELENE, Paulo R. L. **A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto**. 2014. 43 f. São Paulo: Ibracon. 2014.

HELENE, Paulo R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 248 f. Tese - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELENE, Paulo R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto armado**. 2005. São Paulo: Multipla, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil – Período: 1981-2010**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 08 jan. 2022.

MAGALHÃES, Thiago Abdala. **Análise da penetração de íons cloreto em compósitos cimentícios contendo diferentes teores de escória de alto-forno**. 2019. 221 f. Dissertação (Pós-Graduação em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

MEDEIROS, M. H. F. *et al.* **Potencial de corrosão**: influência da umidade, relação água/cimento, teor de cloretos e revestimento. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]. 2017, v. 10, n. 4, p. 864-885. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1983-41952017000400005>>. Acesso em: 12 set. 2021.

MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto**: fundamentos, diagnóstico e prevenção. João Pessoa: IFPB, 2017.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P.I.C.; MAINIER, F.B. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. Revista Química nova na escola, n. 19, 2004.

MOCELLIN, Onir. **Afogamento no estado de Santa Catarina: diagnóstico das mortes ocorridas entre os anos de 1998 e 2008**. 58f. 2009. Monografia (Especialização em Administração Pública) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <[http://www.sobrasa.org/biblioteca/Monografia\\_onir\\_mocellin\\_2009.pdf](http://www.sobrasa.org/biblioteca/Monografia_onir_mocellin_2009.pdf)>. Acesso: 13 jan. 2022.

MOTA, Neusa Maria Bezerra (org.). **Projeto, execução e manutenção de edificações: engenharia diagnóstica e habitação social**. Brasília: UniCEUB: ICPD, 2020.

NATIONAL ASSOCIATION OF COLLEGES AND EMPLOYERS (NACE). **International measures of prevention, application and economics of corrosion technologies study (IMPACT Report)**. 2016. Disponível em:

<<http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2022.

NUNES, Laerce de Paula. **Fundamentos de resistência à corrosão**. Rio de Janeiro: Interciência: IBP: ABRACO, 2007.

PAULETTI, Cristiane. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. 2004. 178 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

REIS, Lília S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. 114 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

RIBEIRO, D. V. *et al.* **Corrosão e degradação em estruturas de concreto**: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. 2a ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2018.

ROCHA, Francielle Cristine da. **Leituras de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado**: influência da relação água/cimento, da temperatura, da contaminação por cloretos, da espessura de revestimento e do teor de umidade do concreto. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTOS, D. R. dos, *et al.* **Comportamento e intensidade dos ventos na zona costeira de Aquiraz - CE**. Revista Tecnologia, [S. l.], v. 37, n. 1/2, p. 55–66, 2016. DOI: 10.5020/23180730.2016.V37.1/2.55-66. Disponível em: <<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/5693>>. Acesso em: 13 fev. 2022.

SILVA, Daniel H. **Recuperação de estruturas de concreto – corrosão das armaduras – estudo levantado no Centro Oeste de Minas Gerais**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 10, Vol. 02, p. 64-77. Outubro de 2018.

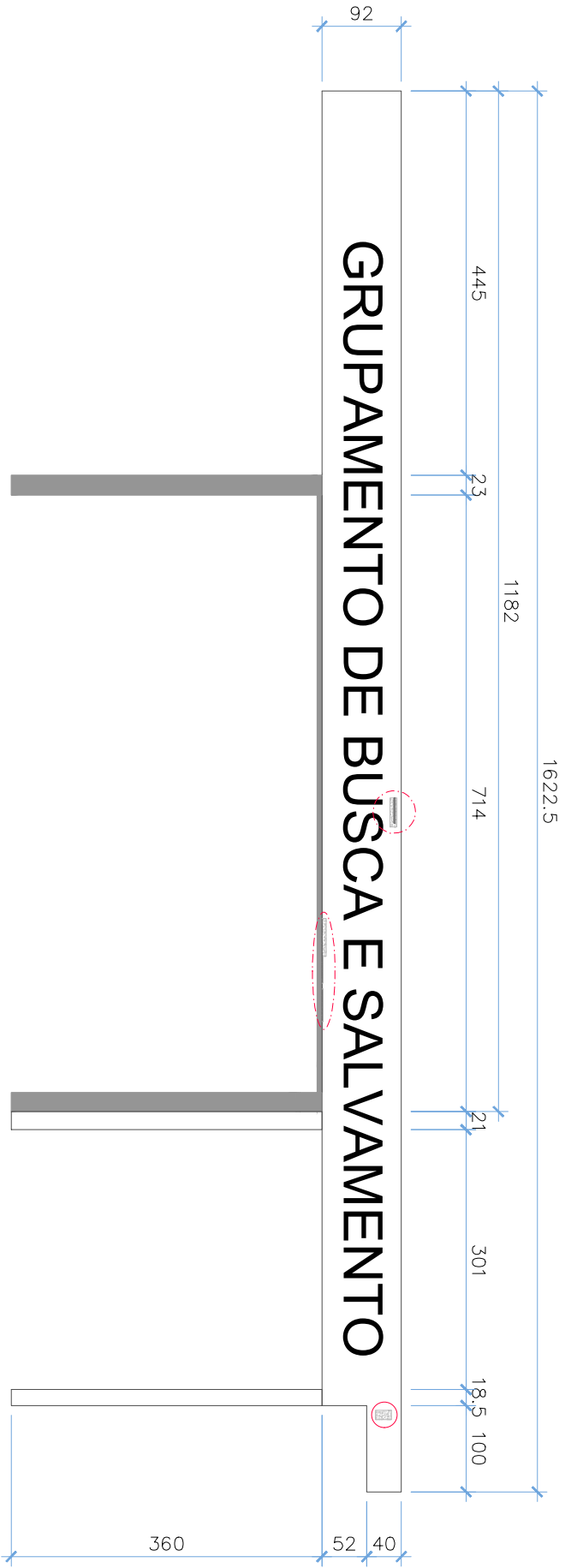
SILVEIRA, R.B.; ALVES, M.P.A.; MURARA, P. **Estudo de caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina**. . In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – SBCG, Curitiba, v.1, p. 380-392, 2014.

TAVARES, Lisiane Morfeo. **Estudo do processo de corrosão por íons cloreto no concreto armado utilizando armaduras comuns e galvanizadas**. 2006. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

WOLYNEC, Stephan. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. São Paulo: Edusp, 2003.

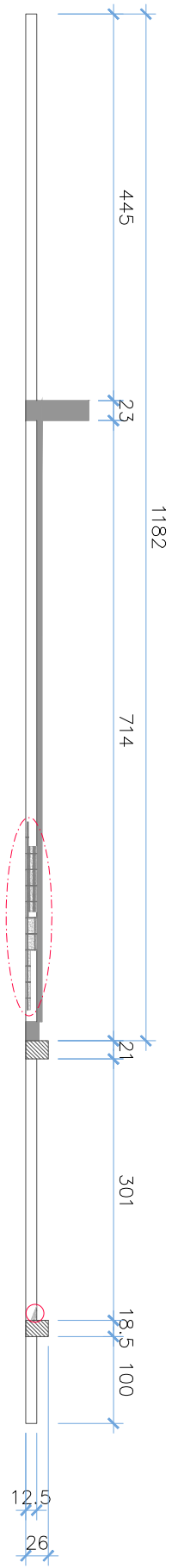
## **APÊNDICES**

Apêndice A - Croqui dos elementos estruturais



VISTA FRONTAL - VIGA E PILARES

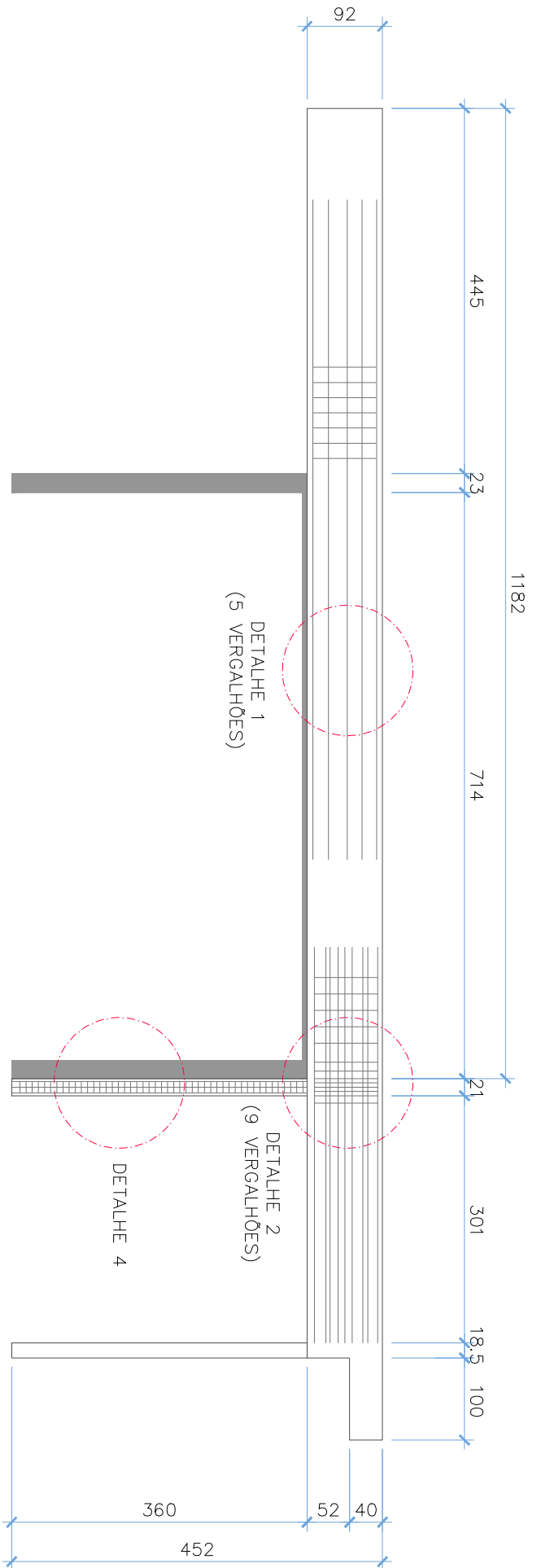
ESCALA 1:75



VISTA INFERIOR - VIGA E PILARES

ESCALA 1:75

## Apêndice B - Posições das armaduras dos elementos estruturais

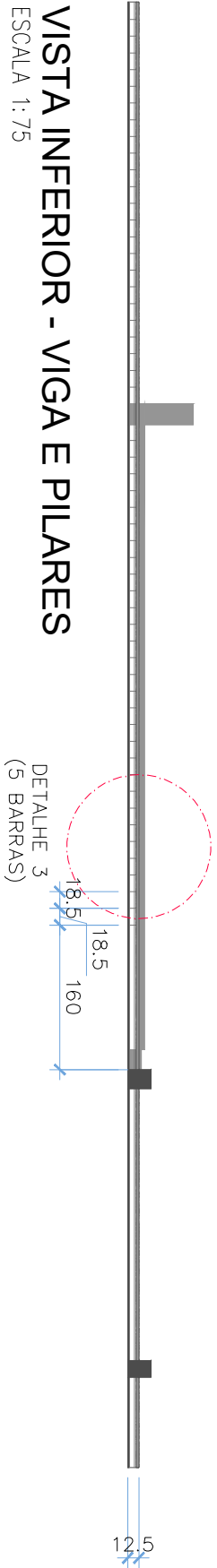


### VISTA FRONTAL - VIGA E PILARES

ESCALA 1:75

### VISTA INFERIOR - VIGA E PILARES

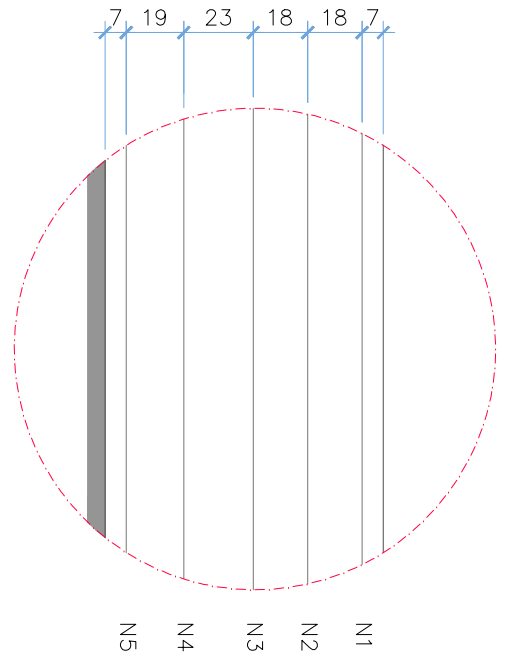
ESCALA 1:75



## Apêndice C - Detalhes dos elementos estruturais

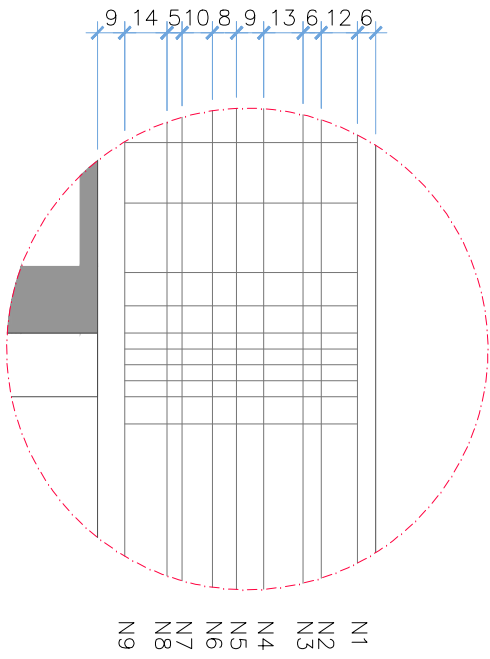
**DETALHE 1**

ESCALA 1:25



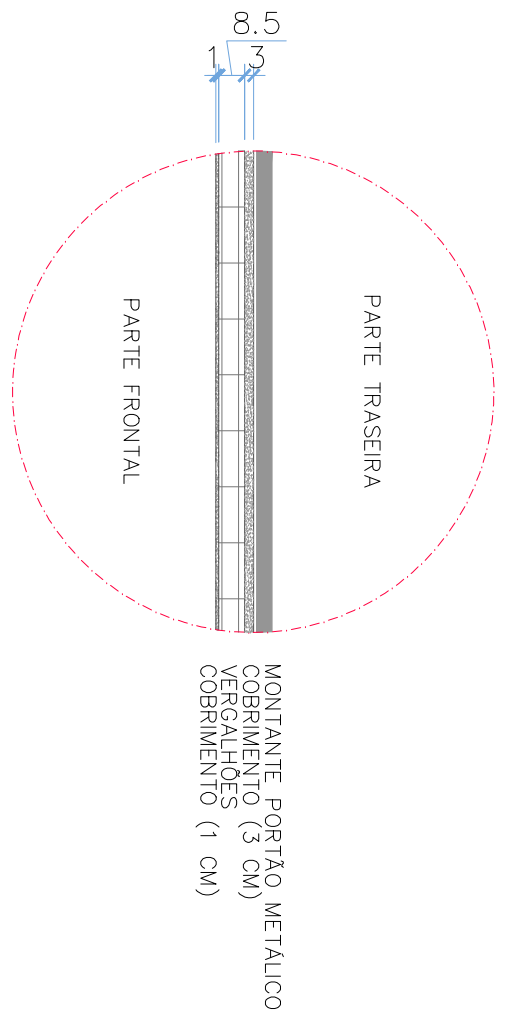
**DETALHE 2**

ESCALA 1:25



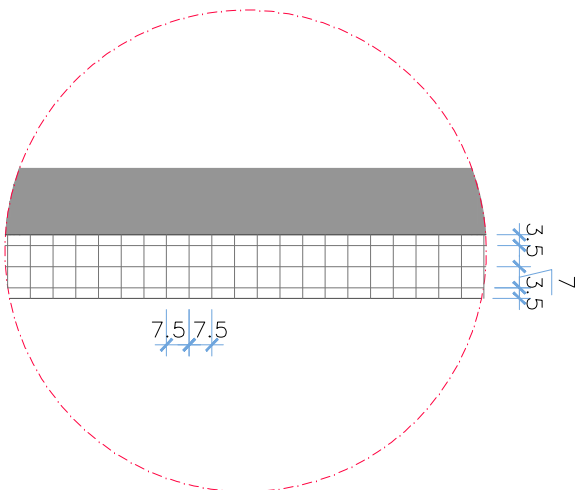
**DETALHE 3**

ESCALA 1:25



**DETALHE 4**

ESCALA 1:25







## Apêndice F - Leituras de potencial do pilar (V)



## Apêndice G – Mapa de contornos equipotenciais do pilar (V)

